Министерство образования Российской Федерации
Политехнический университет Петра Великого
Институт металлургии, машиностроения и транспорта

А.Б. Смирнов

# ЭРГОНОМИКА

Санкт-Петербург
2016

УДК 62-50.23

Смирнов А.Б. Эргономика: учебное пособие. 2016, 125 с.

Учебное пособие посвящено основам эргономики производственной среды. В пособии рассматриваются вопросы становления эргономики как науки, основные этапы развития и ее современные направления. Приводится анализ и классификация эргатических систем. Подробно рассматривается сенсорная сфера человека-оператора, его антропометрические характеристики. Приводятся сведения о моторной (двигательной) сфере оператора технологического оборудования. Оценивается влияние факторов внешней среды на работоспособность оператора. Рассматриваются основные проблемы надежности и безопасности эргатических систем технологического оборудования, даются рекомендации по повышению работоспособности оператора.

Учебное пособие предназначено для бакалавров, обучающихся по направлениям 15.03.02 – Технологические машины и оборудование, 15.03.06 – Мехатроника и робототехника.

## Список сокращений

АО – анализатор обоняния;
БА – болевой анализатор;
ВР – время реакции;
ИОДВ – индекс охлаждающего действия ветра;
КЧ – конституция человека;
ЛВ – летучее вещество;
ЛП – латентный период;
МП – моторный период;
МСА – мышечно-суставной (кинестетический) анализатор;
МУЗ – минимальный угол зрения;
ПСР – простая сенсомоторная реакция;
РДО – реакция на движущийся объект;
СДА – статико-динамический анализатор:
ССР – сложная сенсомоторная реакция;
ТА – температурный анализатор;
ТБ – техника безопасности;
ЭС – эргатическая система;
ЭЭТ – эквивалентно-эффективная температура.

# Содержание

# ВВЕДЕНИЕ

Научными основами дизайна являются техническая эстетика и эргономика. Термин *эргономика* происходит от др.-греч. ἔργον — работа и *νόμος* — закон.

Упрощенно *цель эргономики* заключается в учете при проектировании машин и ее элементов возможностей человека-оператора, взаимодействующего с машиной.

*Эргономика* – наука, изучающая особенности деятельности человека (или группы людей) в условиях производства и жизнедеятельности с целью оптимизации орудий труда, условий и процесса труда. Эргономика – самостоятельная технико-психологическая область науки и техники, предметом изучения которой является класс систем, называемых эргатическими (синонимы: человек–машина, человек–техника, антропотехническая система) Эргономика включает в себя как составную часть инженерную психологию.

Определение, принятое Международной Эргономической Ассоциацией (IEA) в 2007 году: *«Эргономика — это область приложения научных знаний о человеке к проектированию предметов и систем, используемых им».*

*Цель эргономики* как научно-технического направления – улучшение условий труда, повышение эффективности труда (в частности, производительности) при обеспечении комфорта и безопасности труда. Целью эргономики является также сохранение здоровья человека и развитие личности.

Термин *эргономика* был принят в Великобритании в 1949 году, когда группа английских учёных положила начало организации «Эргономическое исследовательское общество». В СССР в 20-е годы науку предлагалось называть *эргологией*. В США раньше имелось собственное наименование – «исследование человеческих факторов», а в ФРГ — *антропотехника*, но в настоящее время наибольшее распространение получил английский термин.

Часто объединяют две дисциплины *эргономику* и *охрану труда*. Считается, что сочетание этих двух дисциплин повышает эффективность использования техники при соблюдении безопасности труда.

Чем выше уровень автоматизации техники, тем меньше остается человеку физической работы, поэтому возникает больше ограничений двигательной деятельности человека. Повышаются нервная нагрузка, эмоциональные напряжения, ответственность человека за порученное дело, за принятие решения (например, работа авиадиспетчера), возрастают психологические требования к человеку-оператору.

Быстрый технический прогресс связан с рядом неблагоприятных воздействий на человека. Так, техника, созданная для облегчения труда человека, часто обращается против него (например, техногенные катастрофы, психические расстройства). Таким образом, технический прогресс имеет и отрицательные эргономические факторы воздействия на человека.

Существуют два подхода к созданию новых машин с использованием эргономических принципов:

– улучшение и модернизация, устранение недостатков отдельных элементов спроектированной машины (т.е. сначала создается проект машины, удовлетворяющей технико-экономическим требованиям: производительность, экономичность и т.д., а потом удовлетворяются эргономические требования);

– одновременное использование технических и эргономических критериев с самого начала проектирования машины.

При втором подходе к созданию машин эргономические параметры должны закладываться на начальных этапах проектирования. Для этого нужны проектировщики, которые хорошо знают эргономику. Как следствие при этом подходе возникло понятие проектной культуры, которая призвана способствовать повышению профессиональной культуры и творческого самосознания проектировщика. Этот подход наиболее часто применяется в автомобилестроении.

Человека можно «втиснуть» (встроить) в техническую систему, однако в этом случае не учитывается социально-культурная сущность труда (можно вспомнить фильм Чарли Чаплина «Новые времена», в котором герой фильма работал на потогонной поточной линии и сошел с ума из-за высокой интенсивности и однообразия в работе).

В производстве постоянно повышается интенсификация труда, его производительность, что приводит к повышению утомляемости. Для борьбы с ней необходимо повысить эргономичность орудий труда его организацию, которые снижает вероятность профессиональных заболеваний, сохраняя трудоспособность населения в течение длительного периода.

Эргономика тесно связана с технологией производства. Очевидно, что для повышения эргономичности изделий необходимо совершенствовать технологии производства технических элементов эргатических систем, при помощи которых улучшаются потребительские свойства и качество изделий. Следовательно, при этом повышается конкурентоспособность изделия, например, в автомобилестроении эргономичность машины имеет первостепенное значение.

Таким образом, основной принцип эргономики заключается в удовлетворении требований максимума внимания человеку через конструкцию орудия труда и быта, решая тем самым социальные задачи общества.

## 1. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ЭРГОНОМИКИ КАК НАУКИ

Эргономика изучает целенаправленное взаимодействие человека с техникой. Как наука эргономика является молодой, ей порядка 80 лет, однако ее истоки лежат в глубокой древности.

С древних времен мастера уделяли большое внимание удобству пользования оружием и инструментом. Например, эфес шпаги, рукоятка холодного оружия, которые употреблялись не для демонстрации богатства и превосходства, а для боя, отличались удобством применения (рис. 1.1). То же самое можно сказать и про рабочий инструмент, он как бы ложился сам в руку. Часто рукояти подгонялись под индивидуального пользователя. В настоящее время такой индивидуальный подход к рукояткам сохраняется при изготовлении спортивного оружия (рис. 1.2).

### 1.1. Становление эргономики

В *кустарном производстве* проявлялись зачатки эргономики. Секреты изготовления передавались из поколения к поколению. Раньше орудия труда совершенствовались столетиями, сейчас новые инструменты и приспособления возникают очень быстро и также быстро совершенствуются.



Рис. 1.1. Холодное оружие и инструмент

*Первый этап.* Возникновение эргономики как науки обусловлено промышленной революцией 18-19 веков, когда механизация значительной части технологических процессов считалась основным показателем прогресса. Машины вытесняли человека из сферы производства. Этому способствовали качества машин, по которым машины превосходили человека – силовые и энергетические характеристики, по точности и плавности силового воздействия, по быстродействию, надежности и т.д.

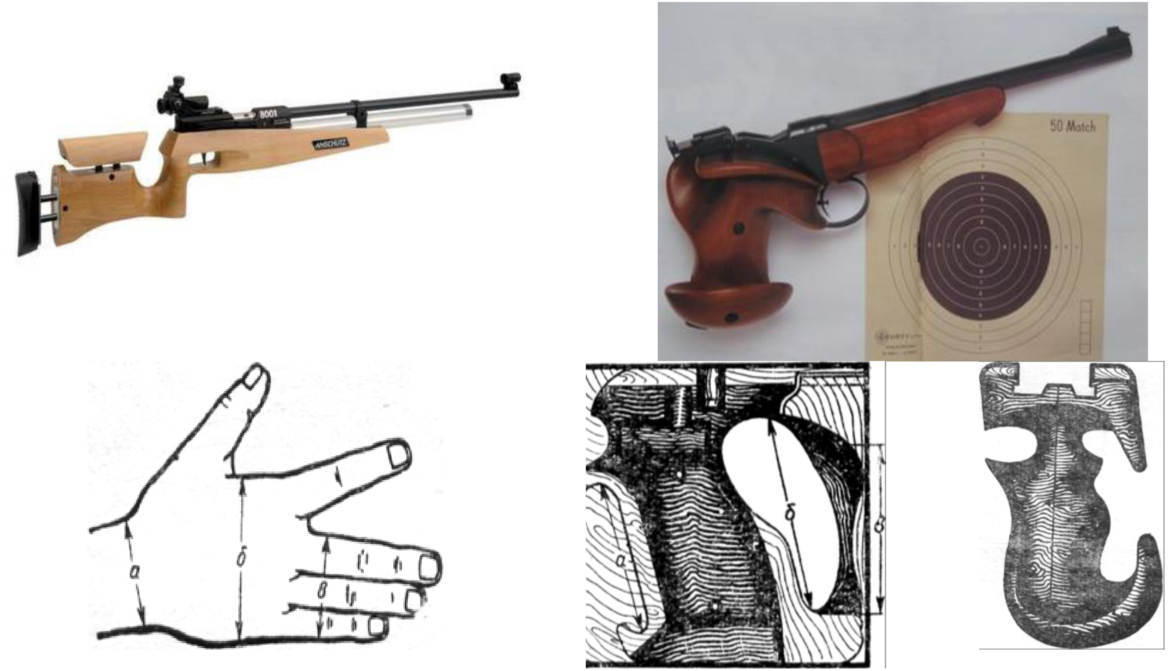



Рис. 1.2. Огнестрельное оружие с подгонкой рукоятки и приклада

При этом сфера физической деятельности человека сокращалась не только количественно, но и качественно трансформировалась (рис. 1.3). Превалирующими функциями человека становились управление и контроль за функционированием машины, а в дальнейшем – программирование. Применительно к этим функциям и возникла эргономика как научное направление. В России идеи эргономики сформировались в конце 19 века под влиянием исследований И.М. Сеченова, В.М. Бехтерева, В.Н. Мясищева.

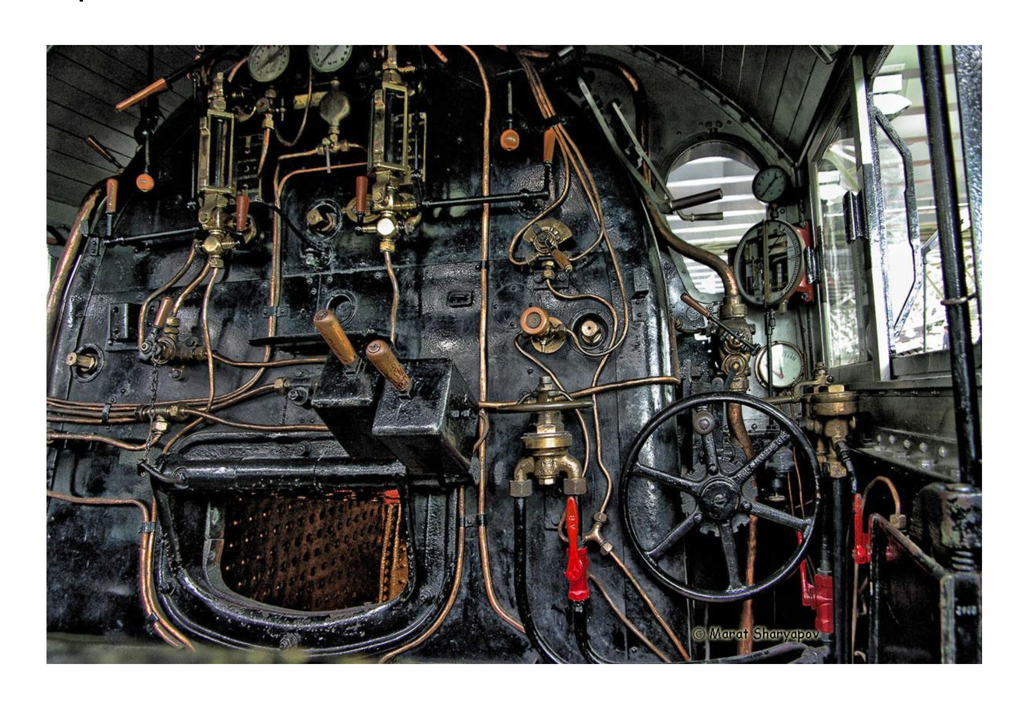



Рис.1.3. Кабина паровоза

*Второй этап.* Становление эргономики как науки началось во время Второй мировой войны. Одна из причин ее становления – противоречие между потенциалом технических средств вооружения и способностью персонала использовать этот потенциал. Часто фактические характеристики вооружений оказывались ниже проектных по причине пренебрежения учета возможностей человека управлять сложной техникой. Человек не мог полностью использовать возможности техники.

Примеры. Операторы первых РЛС (радиолокационная станция) не могли часто отличить помехи от цели на экране локатора (две смены операторов РЛС были расстреляны в Англии, когда они пропустили немецкие самолеты, летевшие бомбить Лондон).

В кабине реактивного самолета (рис. 1.4) летчик видит быстро меняющуюся обстановку, которая находится от него на расстоянии более 500 м. При высокой скорости самолета стрелять точно практически невозможно, поэтому необходимы автоматизированные средства управления.



Рис. 1.4. Кабина истребителя

Киришская ГРЭС (государственная районная электростанция) имела в 70-е годы огромное информационное табло (4,5х70 м). Возникает справедливый вопрос: как оператор может контролировать ситуацию, когда информация внезапно появляется на разных концах табло? В настоящее время благодаря эргономической проработке и внедрению компьютеров информационные панели стали иметь приемлемый вид (рис. 1.5).

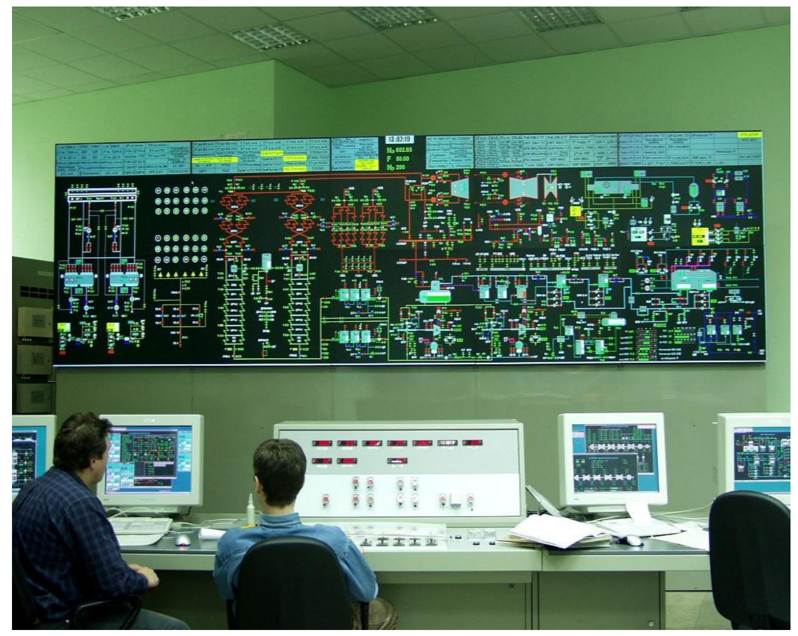


Рис. 1.5. Пульт управления энергосистемы

Многие специалисты считают, что *эргономика как наука* возникла в 1920-х годах в связи со значительным усложнением техники, которой должен управлять человек в своей деятельности.

Влияние на эргономику оказали:

- период кустарного производства орудий труда и оружия;
- промышленная революция 18-19 веков;
- Вторая мировая война;
- информационная революция конца 20 в.

Первые исследования по эргономике начали проводиться в Великобритании, США и Японии. Советские ученые Н.А. Бернштейн, С.Г. Геллерштейн, Н.М. Добротворский, Н.В. Зимкин, Н.А. Эппле и др. в 1920–1930-х одними из первых в мировой практике осуществили прикладные работы в этой области.

Большое внимание эргономике стали уделять в начале 1960-х годов. Развитые страны залечили раны Второй мировой войны. В эти годы в мире стали образовываться национальные эргономические ассоциации и общества. В 1961 г. была создана Международная эргономическая ассоциация – International Ergonomic Association (IEA). Последнее время эргономика отходит от классического определения и перестаёт быть строго связана с производственной деятельностью. В послевоенное время эргономика стала распространяться в различных областях жизни человека.

Английский ученый Б. Шакель характеризует развитие эргономики по десятилетиям следующим образом:

1950-е - военная эргономика,

1960-е - промышленная эргономика,

1970-е - эргономика товаров широкого потребления,

1980-е - интерфейс "человек-компьютер" и эргономика программного обеспечения,

1990-е - когнитивная и организационная эргономика.

## 1.2. Основные направления современной эргономики

К концу 20 века выделились *три главных направления* эргономики:

1. *Эргономика физической среды,* рассматривающая вопросы, связанные с анатомическими, антропометрическими, физиологическими и биомеханическими характеристиками человека, имеющими отношение к физическому труду. Наиболее актуальные проблемы включают рабочую позу, интенсивность работы, расстройства опорно-двигательного аппарата, компоновку рабочего места, надежность и здоровье.

2. *Когнитивная эргономика* (эргономика умственного труда) связана с психическими процессами, такими как восприятие, память, принятие решений, поскольку они оказывают влияние на взаимодействие между человеком и другими элементами системы (например, изучается такое негативное проявление во время трудовой деятельности авиадиспетчеров как депрессия, хроническая усталость, нервные срывы на работе). Соответствующие проблемы включают умственный труд, принятие решений, квалифицированное выполнение, взаимодействие человека и компьютера, акцент делается на подготовке и непрерывном обучении человека при проектировании социотехнической системы. Важное место имеет психологический тип оператора. *Пример.* В последнее время на месторождении бокситов в Австралии в качестве водителей 300-тонных самосвалов берут только женщин. Это объясняется тем, что женщины более осторожны и реже превышают скорость (на месторождении в карьере скорость – не более 15 км/час), поэтому количество аварий снизилось после замены водителей.

3. *Организационная эргономика* рассматривает вопросы, связанные с оптимизацией социо-технических систем, включая их организационные структуры и процессы управления. Проблемы включают рассмотрение системы связей между индивидуумами, управление групповыми ресурсами, разработку проектов, кооперацию, групповую работу и управление.

# 2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЭРГОНОМИКИ И ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

## 2.1 Преимущества человека перед машиной

Анализируя систему «человек-машина» можно утверждать, что в настоящее время пока человек превосходит машины по следующим параметрам:

- по способности выделения полезного сигнала на фоне помех;
- по способности к воспроизведению, организации и интерпретации сигналов различной физической природы (человек способен воспринимать сигналы по 10 различным каналам);
- по способности принимать решение в ситуации с неопределенным исходом (системы искусственного интеллекта могут решать только простейшие задачи);
- по способности быстро переключаться с одного вида деятельности на другой;
- по способности к самообучению.

В сложных эргатических системах происходит существенное расширение диапазонов режимов работы оператора. С учетом факторов отказов, неопределенности внешней среды (например, работа в космосе) наука о создании систем управления выдвигается на первый план. Разрабатываются такие типы систем управления, как

- самонастраивающиеся автоматические системы без участия человека (адаптивные системы),
- комбинированные системы управления с участием человека (более дешевые системы).

В комбинированных системах управления происходит взаимодействие человека с системой управления. Человеку-оператору поручаются те функции, в которых он превосходит ее по качеству исполнения (оценка действий в неопределенных ситуациях и принятие решений). Такие системы называют супервизорными и диалоговыми. Например, на пути мобильного робота возникло препятствие. Если он не запрограммирован на объезд, то может произойти авария. Человек способен предотвратить аварию быстрее машины.

Человек обладает предвидением и способностями к компенсации недостающей части технической части системы (например, при отказе какого-либо элемента машины), т.е. он обладает свойствами *самовосстанавливаемости* эргатической системы в целом. Человек способен изменить стратегию своего поведения в соответствии с изменившейся обстановкой независимо от того, касается ли это конечной цели производства или промежуточных ситуаций. Однако последние достижения в области искусственного интеллекта в некоторых случаях позволяют машине конкурировать с человеком в этой облас-

ти. Таким образом, эргатическую систему нужно рассматривать в качестве основного объекта для проектирования технических объектов.

## 2.2. Принципы разработки эргатических систем

При разработке сложных эргатических систем нужно руководствоваться следующими принципами:

1. *Принцип минимальной физической нагрузки.* Человек-оператор должен выполнять только ту работу, которая необходима, и которая не может быть выполнена машиной.

2. *Принцип дружественного интерфейса*. Информационная панель должна обеспечивать легкость считывания оператором и однозначность информации.

3. *Принцип минимального объема запоминаемой информации*. От человека требуется, чтобы он запоминал как можно меньше.

4. *Принцип возможности вмешательства оператора в работу машины в любой момент*. Этот принцип характеризуется следующими требованиями:

- человек-оператор должен иметь возможность изменить очередность операций, выполняемой машиной;
- человек-оператор должен контролировать последовательность работ, особенно там, где нет четко определенной последовательности операций.

5. *Принцип преимущественных возможностей оператора.* Состоит в передаче человеку тех функций, которые он выполняет лучше машины, а машине тех, которые она выполняет лучше человека.

6. *Принцип оптимальной информационной нагрузки.* Рекомендует такое распределение функций, при котором оператор по темпу поступления информации не испытывал бы ни сенсорного голода (потеря активности), ни сенсорной перегрузки (пропуск сигналов).

При разработке технологического оборудования необходимо учитывать совместимость работы человека и машины в следующих направлениях:

- антропометрической совместимости (учет размеров тела человека, возможности обзора внешнего пространства, положения оператора при работе);
- сенсомоторной совместимости (учет скорости моторных операций человека и его сенсорных реакций на различные виды раздражителей);
- энергетической совместимости (учет силовых возможностей человека при расчете усилий, прилагаемых к органам управления);
- психофизиологической совместимости (учет реакции человека на цвет, частотный диапазон подаваемых сигналов, форму и другие эстетические параметры машины).

### 2.3. Задачи при проектировании эргатических систем

На первых стадиях разработки машины необходимо решить следующие задачи.

1. Определить какая роль отводится человеку в проектируемой системе, или какова должна быть оптимальная степень автоматизации эргатической системы.
2. Учесть физические, психологические, эмоциональные и другие стороны деятельности человека на рабочем месте в проектируемой машине. Необходимо уметь оценивать и прогнозировать эти факторы на стадии проектирования.
3. Оптимизировать структуру и параметры рабочего места оператора, включая оптимизацию средств отображения информации и оптимизацию конструкции и компоновки органов управления с целью учесть специфические характеристики сенсорной и моторной сферы человека-оператора. Нет смысла показывать сигнал, который человек не воспринимает и не оценивает – например, положение дроссельной заслонки в двигателе внутреннего сгорания. Для педалей нужно учитывать вполне определенные возможности ноги человека, нужно умело согласовывать порог различимости с передаточной кинематической цепью. Знать моторные и сенсорные возможности человека.
4. В случае, если не удается учесть все требования, предъявляемые к машине со стороны человеческого фактора, необходимо устранить эту проблему путем профессионального отбора лиц для эффективной работы на спроектированном оборудовании. Задача проектировщика – сформулировать требования к оператору. Это является инженерной задачей. И, наконец, задача профессионального обучения. Как учить – задача педагогов, чему учить – задача разработчика техники.

## 3. АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

### 3.1. Роль эргатической системы в производственном процессе

Эргатическая система (ЭС) состоит из двух взаимодействующих элементов: человека-опреатора и машины, которая воздействует на предмет труда (рис. 3.1). На ЭС действуют внешние факторы, такие как производственное задание, условия работы и жизни оператора, материалы и энергия, подаваемые на машину.

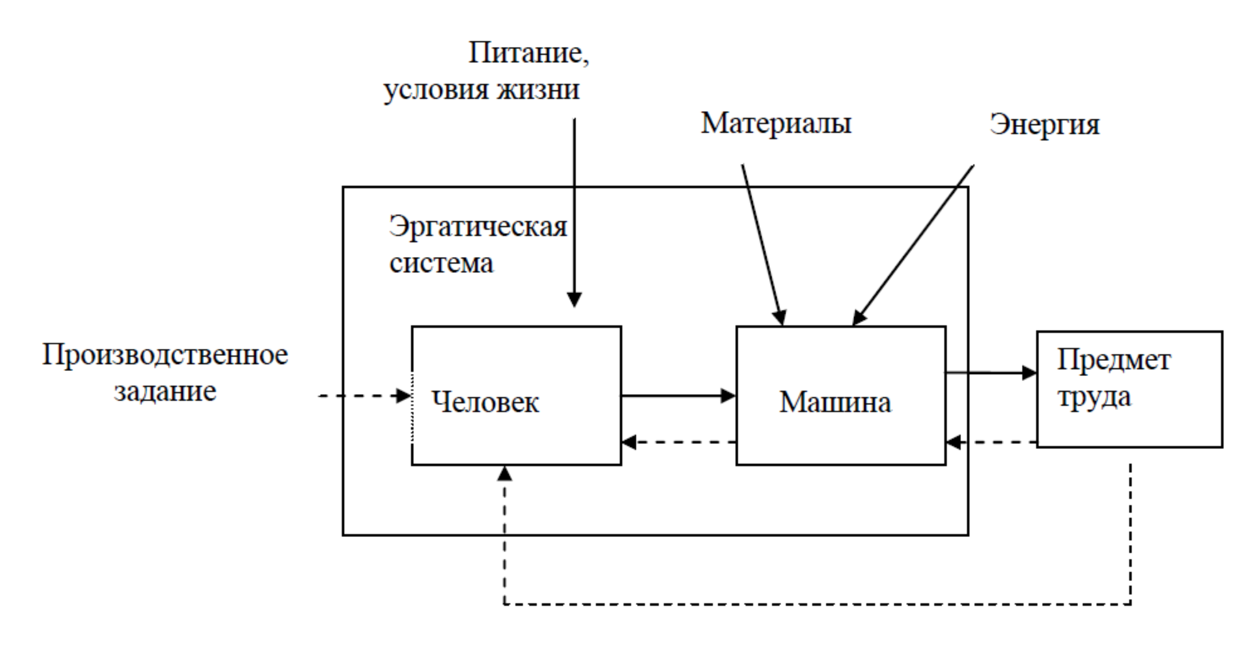



Рис. 3.1. Структурная схема эргатической системы

Любая машина имеет жизненный цикл, поэтому на всех стадиях этого цикла необходимо соблюдать требования, предъявляемые к ЭС (рис. 3.2), начиная проектированием технического объекта и кончая утилизацией технического объекта.

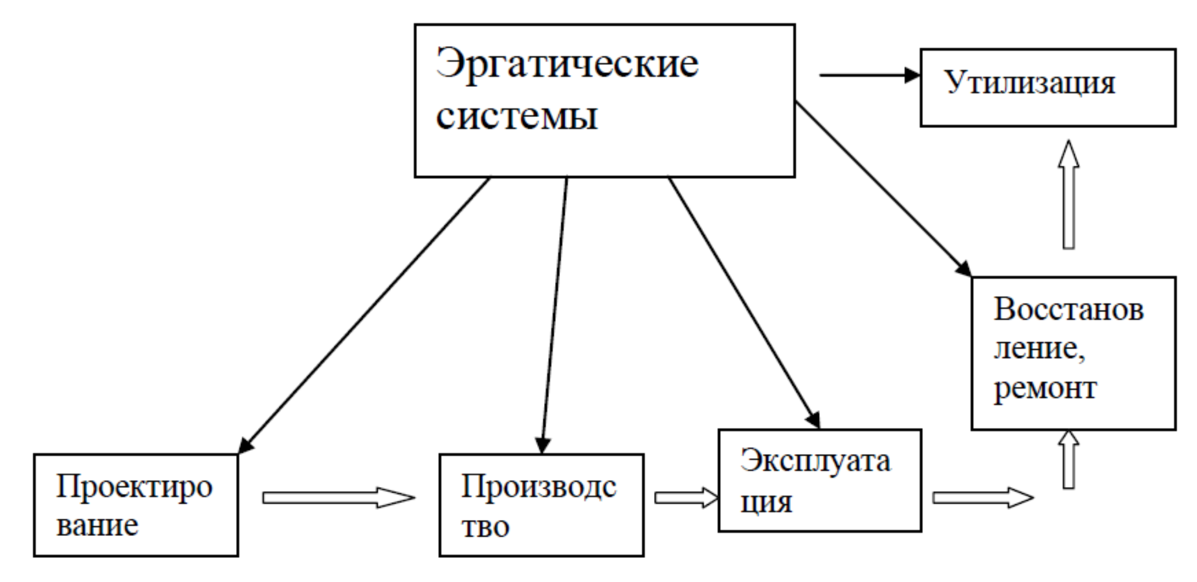



Рис. 3.2. Жизненный цикл эргатической системы

При проектировании сложных или больших систем нужна организация взаимоотношений человек-проект. К этому взаимоотношению проявляют большой интерес японские проектировщики. Возникло понятие проектной культуры, которая призвана способствовать повышению профессиональной культуры и творческого самосознания разработчика.

Эргатические системы можно классифицировать по назначению в технической сфере деятельности человека. Важно различать системы контроля и управления.

*Системы контроля*: в такой ЭС человек-оператор на принимает решение по управлению системой, он только воспринимает информацию от машины, осмысливает ее и передает далее по цепочке управления (например, эргатические системы мониторинга окружающей среды, пожаров, вулканической активности). В ней нет обратной связи, характерной для систем управления (рис. 3.3).

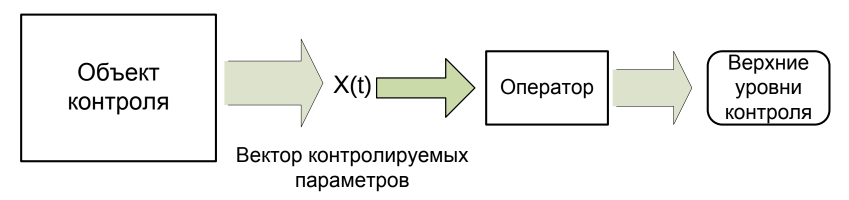



Рис. 3.3. Эргатическая система контроля

*Системы управления*: в такой эргатической системе (рис. 3.4) имеется обратная связь, то есть человек-оператор, получая информацию от машины, принимает решение и управляет ею (например, экскаватор).

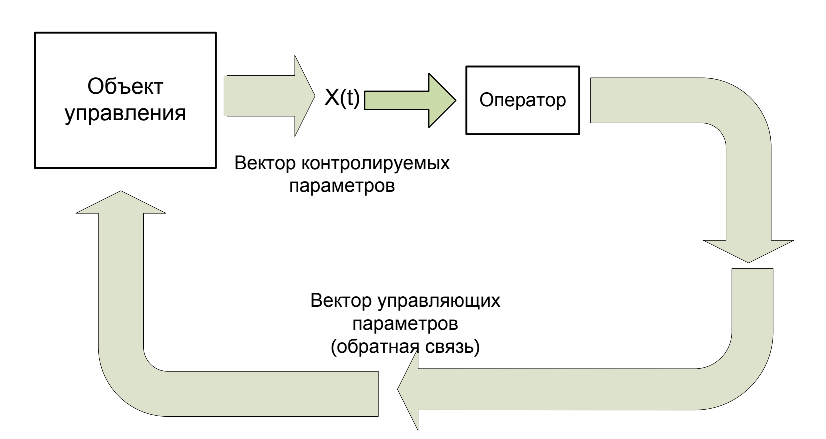



Рис. 3.4. Эргатическая система управления

По числу людей (операторских звеньев) эргатические системы делятся на

- моноэргатические,
- полиэргатические.

В моноэргатических системах один оператор. Основная проблема – оптимизация взаимоотношения человека и машины. Она решается в рамках *инженерной психологии*.

В полиэргатических – преобладает групповая деятельность. Тут возникают аспекты *социальной психологии*. Приходится организовывать иерархию управления. По уровню иерархии управления различают ЭС 1,2,3 и т.д. порядка. В случае 1-ого порядка – в системе работают операторы высшего и низшего ранга. С повышением порядка системы число уровней иерархии возрастает.

Часто классифицируют ЭС по специфике рабочих процессов (рис. 3.5). По этому признаку они делятся на 2 большие группы.

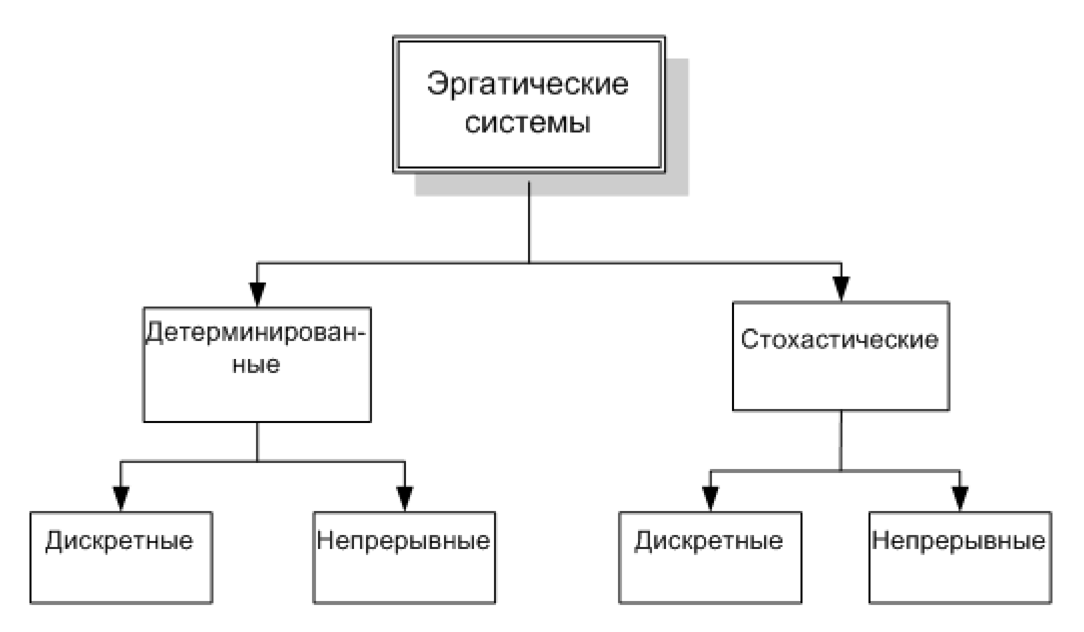



Рис. 3.5. Классификация ЭС по специфике технологических процессов

Детерминированные системы – при математическом моделировании могут быть описаны детерминированными математическими моделями с постоянными коэффициентами.

Стохастические системы требуют вероятностных моделей функционирования.

Деление на дискретные и непрерывные ЭС связано с возможностью человека воспринимать информацию в непрерывном режиме или периодически. Возникает комплекс вопросов, связанных с дискретизацией информации.

Примерами детерминированных дискретных ЭС могут служить технологические системы производства деталей машиностроения, производство конфет и других объектов, когда технологические параметры находятся в четко определенных рамках. Детерминированная непрерывная ЭС – производство кабеля, текстиля, непрерывное производство стали. В качестве стохастических дискретных ЭС могут служить машины, в которых осуществляется поиск и отделение от руды алмазов на движущемся конвейере, разбраковка электронных компонентов. Пример стохастической непрерывной системы – управление процессом бурения скважин, когда параметры грунта, в котором движется бур, непрерывно меняются по случайному закону.

## 3.2. Основные виды работ оператора

Работы по уровню использования интеллекта можно разделить на следующие виды.

1. Работы, использующие в основном силу мышц (грубая физическая работа – работа шахтера, путеукладчика, пожарного).
2. Работы, требующие высокой точности в координации движений (слесарь-сборщик, реставратор).
3. Работы, связанные с преимущественной нагрузкой на органы чувств (осуществление контрольных функций, видеонаблюдение в магазинах).
4. Работы, связанные с умственной деятельностью (программисты, творческие работники, дизайнеры).

Часто работник в своей деятельности участвует в работе нескольких из указанных видов.

Технические изделия, которые являются объектами исследования эргономики, можно разделить на два класса:

– простые объекты (например, молоток, пылесос и т.п.);

– сложные объекты (например, самолет, автобус, пульт управления АЭС).

### 3.3. Основные факторы, влияющие на функционирование эргатической системы

Человека можно «втиснуть» в техническую систему и заставить его работать с высокой интенсивностью, однако при этом часто не учитывается социально-культурная сущность труда. Плохая эргономическая проработка рабочего места приводит к неудовлетворенности жизнью, депрессиям, а в конечном итоге к снижению эффективности труда. Факторы, влияющие на работы эргатической системы (табл. 3.1), имеют различное происхождение.

Табл. 3.1. Факторы, влияющие на функционирование ЭС

| Человеческие факторы | Общественные | Техногенные |
|---|---|---|
| Антропологические<br>Психологические<br>Гигиенические (физиологические) | Социальные<br>Культурные<br>Экономические | Технологические<br>Технические |

### 3.4. Основные методы исследования эргатических систем

ЭС состоит из звеньев различной природы, поэтому задача подбора единой методики исследования – дело сложное. В настоящее время пользуются методиками из других научных областей знаний.

Современная эргономика включает целый комплекс антропометрических наук (анатомия, биомеханика, физиология, общая и экстремальная психология) и комплекс технических наук (теория автомати-

ческого управления (ТАУ), теоретическая механика, и т.д.). Очень полезной является теория массового обслуживания (ТМО), изучающая временные характеристики многопоточных процессов. Экспериментально доказано, что эти характеристики являются стохастическими. Теория информации, как наука, сформировалась в конце 40 - х годов 20 века (Винер, Шеннон, Колмогоров и др.).

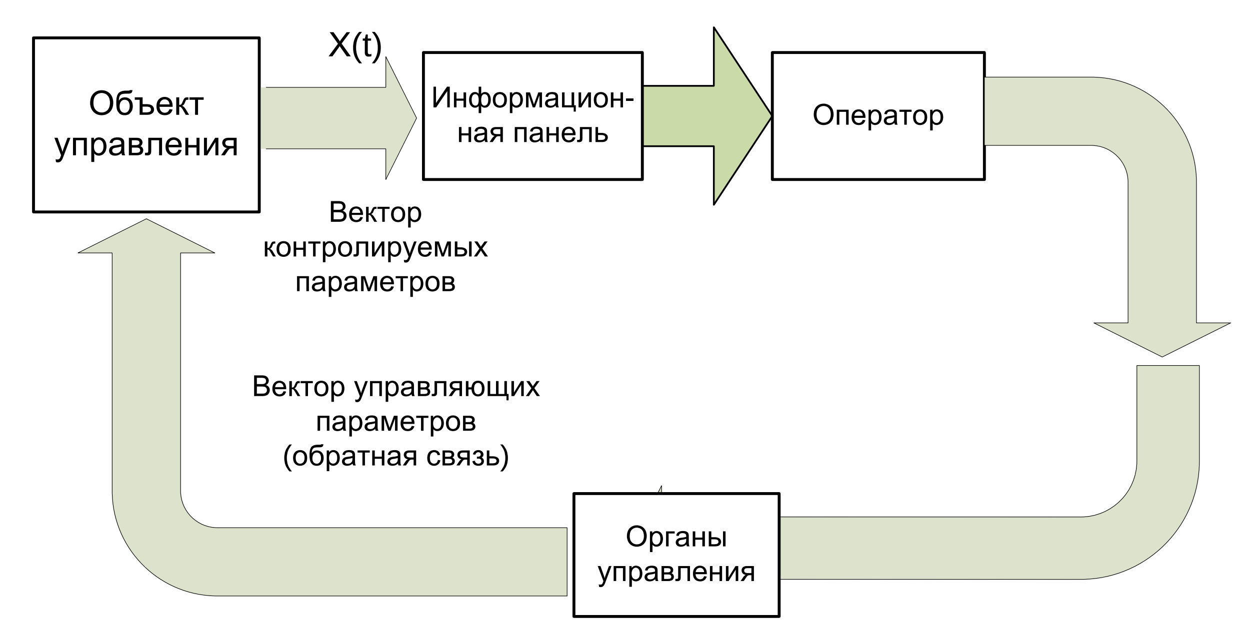



Рис. 3.6. Эргатическая система как аналог автоматической системы управления

В этой эргатической системе источник информации и адресат действий – один и тот же объект - объект управления (рис. 3.6). Здесь существует аналогия с классическими автоматическими системами, поэтому используются ее методики для изучения ЭС.

Эргономическая оценка технических изделий осуществляется следующим образом:

- экспериментальным путем с помощью технических измерительных средств,
- расчетным путем, основанным на вычислении значений параметров, найденных при помощи других методов,
- экспертным путем, основанным на опросе экспертов.

Антропометрические исследования используют методы биомеханики. Антропометрия (от греческого anthropos – человек) – один из основных приемов изучения морфологических особенностей (индивидуальных и групповых) человека.

Психометрические исследования включают

- психофизиологические методики, позволяющие диагностировать природные особенности человека, обусловленные основными свойствами его нервной системы (например, измерение времени

реакции: простой сенсомоторной реакции, реакции выбора, реакции на движущийся объект);
- психофизические методики (определение порогов и динамики чувствительности в различных модальностях);

Используются следующие методы электрофизиологии:
электроэнцефалография (измерение электроактивности мозга с поверхности головы), электромиография (измерение электроактивности мышц), регистрация кожно-гальванических реакций, электрокардиография (электроактивность сердца), электрокулография (запись электрической активности мышц глазного яблока).

## 4. СЕНСОРНАЯ СФЕРА ОПЕРАТОРА

### 4.1. Анализаторы человека и их основные характеристики

Под *анализаторами* человека понимают особые органы, предназначенные для приема информации о внешнем мире и, в частности, о состоянии объектов контроля и управления в эргатических системах. *Анализатор* — подсистема центральной нервной системы, которая обеспечивает прием и первичный анализ информационных сигналов. Информация, поступающая через анализаторы, называется сенсорной, а процесс приема информации — сенсорным восприятием.

Они не всегда совпадают с пятью органами чувств (например, с помощью каких органов чувств мы ощущаем вибрацию пола в самолете?). Применительно к эргатическим системам рассмотрим следующие анализаторы: *зрительный, слуховой, вибрационный, тактильный (осязательный), температурный, болевой, статико-динамический (вестибулярный), мышечно-суставный (двигательно-кинестетический), обонятельный, вкусовой.*

Анализаторы человека приспособлены к приему сигналов *различной модальности* (*мода* – свойство среды-носителя полезной информации), т.е. разной по воздействию на человека. От модальности сигналов, для которых приспособлен тот или иной анализатор, зависит периферическая часть анализатора, однако все анализаторы имеют одинаковую структуру. В упрощенном виде цепь прохождения сигналов внешнего раздражителя выглядит следующим образом (рис. 4.1).

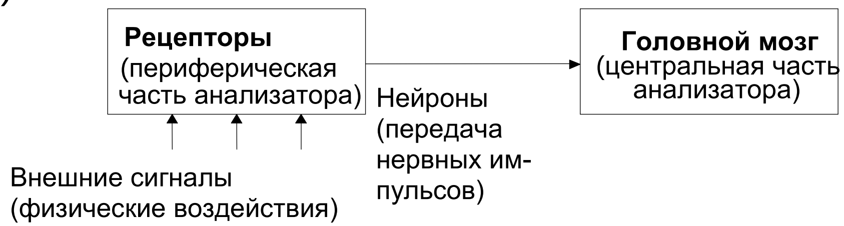


Рис. 4.1. Структурная схема анализатора

Функции элементов анализаторов определяются следующим образом. *Рецептор* предназначен для восприятия сигналов и определен физической природой (модальностью) и поэтому имеет определенные физические свойства и специфическое строение, обеспечивающее преобразование энергии сигнала-раздражителя в нервные импульсы. Важно, что все рецепторы воспринимают сигналы различной модальности, но выход один – электрические нервные импульсы.

Исследования показывают, что выход всех анализаторов одинаков и соответствует дискретному процессу с частотным импульсным кодом, т.е. фактически рецептор выполняет *функцию кодирования информации* в форму, удобную для передачи по нервным путям (нейронам) в виде серии нервных (электрических) импульсов и способную в мозговом центре вызвать ощущения, соответствующие внешнему раздражению. В зависимости от расположения рецепторов различают анализаторы:

*Внешние*: зрительный (рецептор – глаз), слуховой (рецептор – ухо), тактильный (рецептор – кожа), вибрационный – под кожей, болевой (под кожей), температурный, обонятельный (рецептор находится в носовой полости), вкусовой (рецептор на поверхности языка).

*Внутренние:* Мышечно-суставный или двигательно-кинестетический (рецепторы в мышцах и сухожилиях), болевой (в области внутренних органов и мышц), статико-динамический или вестибулярный (находится внутри уха) .

Зрительный анализатор дает 80 – 85% информации, 12 – 15% – слуховой анализатор, остальное – мышечно-суставные и другие анализаторы.

*Характеристики анализатора:*

1. Энергетические (определяют уровни энергии воздействия раздражения на анализатор, т.е. чувствительность);
2. Информационные (определяют количество информации, передаваемой анализатором);
3. Пространственные (определяют возможности обнаружения источника раздражения в пространстве)
4. Временные (определяют возможности обнаружения источника раздражения во времени, аналог быстродействия в технике).

Для характеристики разрешающей способности анализаторов в ЭС вводят понятие *абсолютных и дифференциальных порогов чувствительности*. Абсолютный порог - физическая характеристика стимула (т.е. воздействие на рецептор анализатора), которую субъект может распознать в 50% случаев. Стимулы, физические характеристики которых превышают абсолютный порог, распознаются чаще. Сти-

мулы, физические характеристики которых ниже порога, распознаются менее чем в 50% случаев.

Абсолютные пороги делятся на *минимальные и максимальные*. Так, диапазон восприятия слуховых сигналов, т.е. абсолютные пороги чувствительности 16 – 20000 Гц. Такие же пороги существуют для зрительного анализатора.

Кроме абсолютных порогов чувствительности вводят *дифференциальные*. Это по существу связь между количественным значением текущего раздражителя $I_{тех}$ и его приращением $\Delta I$, при котором человек почувствует разницу в ощущении. У большинства людей приближенно выполняется условие

$$\frac{\Delta I}{I_{тек}} = k - const$$

в большом диапазоне значений раздражителя (закон Вебера).

Какова точность этих порогов чувствительности? В инженерной психологии вводится понятие *концептуальной модели индивидуума* – собственная точка зрения на происходящее вокруг человека. Основными составляющими концептуальной модели, определяющей поведение человека, являются

1. Информация о внешнем мире, получаемая от анализаторов.
2. Информация, полученная из центров оперативной памяти, отражающая предысторию контролируемых процессов.
3. Информация, поступающая из долговременной памяти. Она определяет целевую функцию системы и позволяет человеку выделять и интерпретировать полезную информацию, поступающую от анализаторов, по степени соответствия ее конечной цели функционирования системы.

## 4.2. Зрительный анализатор

Основное внимание сосредоточим на свойствах, имеющих первостепенное значение для проектирования машин, в меньшей степени рассмотрим медицинские и психологические аспекты.

Применительно к процессам приема и переработки информации современная психофизиология различает четыре стадии:

1. Поиск и выделение полезных сигналов из множества сигналов – носителей информации.
2. Концентрация внимания на объекте и слежение за ним.
3. Идентификация (оценка параметров с привлечением памяти человека) сигналов.
4. Интерпретация и принятие решений (логические рассуждения).

Функции анализаторов человека-оператора определяются в рамках 1 - 2 этапов и, следовательно, все основные характеристики, кото-

рые будем рассматривать в дальнейшем, также будем относить к 1-2 этапам.

Задача идентификации и принятия решения по управлению выходит за рамки функций анализаторов и требует привлечения центров логической обработки информации и центров принятия решений головного мозга.

Человеческая зрительная система при операторной деятельности имеет следующие механизмы настройки зрения:

1. *Механизм поворота глазного яблока*. Направление глаз на воспринимаемый объект осуществляется с помощью глазо-двигательных мышц и фоторецепторов, расположенных в сетчатке глаза.

2. *Механизм аккомодации хрусталика*. Четкое изображение на сетчатке разноудаленных объектов осуществляется фокусировкой хрусталика. Механизм аккомодации — изменение формы хрусталика в зависимости от восприятия разноудаленных объектов (0,5–1,5 сек).

3. *Механизм изменения диаметра зрачка*. Темновая/световая адаптация. Для различных условий восприятия (день, ночь) изменяется количество света, которое попадает в глаз. Это происходит за счет изменения диаметра зрачка (1.8 мм – 8 мм, 0.2 – 1 сек).

4. *Механизм различения цвета*. Восприятие цветных и монохромных изображений. За счет наличия фоторецепторов (палочки — сумеречное восприятие, колбочки — цветовое восприятие).

Характеристики зрительного анализатора:

*1. Энергетические*

1.1. Диапазон воспринимаемых яркостей и цвета.

1.2. Контрастность.

1.3. Слепящая яркость.

1.4. Относительная видность.

*2. Информационные*

2.1.Пропускная способность.

*3. Пространственные*

3.1 Острота зрения.

3.2. Поле зрения.

3.3. Объем зрительного восприятия.

*4. Временные*

4.1.Латентный период реакции.

4.2 Длительность инерции ощущения.

4.3 Критическая частота мелькания.

4.4. Время адаптации.

4.5. Длительность информационного поиска.

*Абсолютные и дифференциальные пороги чувствительности зрительного анализатора*

Световые сигналы (носители информации) имеют две основные энергетические характеристики:

- частота сигнала, ГГц (длина световой волны, нм), воспринимаемая человеком как цвет;
- интенсивность сигнала (сила света), воспринимаемая человеком субъективно как яркость соответствующего сигнала, размерность: Вт/стерадиан или кандела (кд).

Поэтому абсолютные и дифференциальные пороги чувствительности также оценивают по частоте и по интенсивности.

Экспериментально установлено, что диапазон частот видимого сигнала эквивалентен диапазону длин волн : 400…700 нм.

Дифференциальный порог $\frac{\Delta I}{I_{тек}} = k \cong 0{,}01 - const$. Это ***закон Вебера*** («основной психофизиологический закон»), он был открыт в 1834 г.

Фактически значение порога чувствительности несколько иное:

$$\frac{\Delta I}{I + I_{д}} = k - const,$$

где $I_{д}$ – переменная добавка, отражающая нелинейный характер дифференциальной зависимости.

В зависимости от частоты (длины световой волны) дифференциальная чувствительность имеет нелинейный характер: максимальная чувствительность – на длине волны 555 нм (желто-зеленый цвет) (табл. 4.1. и рис. 4.2).

Табл. 4.1. Соответствие цвета длине волны

| Название цвета | Длина волны (нм) | |
|---|---|---|
| | От | До |
| Фиолетовый | 380 | 440 |
| Синий | 440 | 480 |
| Голубой | 480 | 510 |
| Зеленый | 510 | 550 |
| Желто-зеленый | 550 | 575 |
| Желтый | 575 | 585 |
| Оранжевый | 585 | 620 |
| Красный | 620 | 780 |

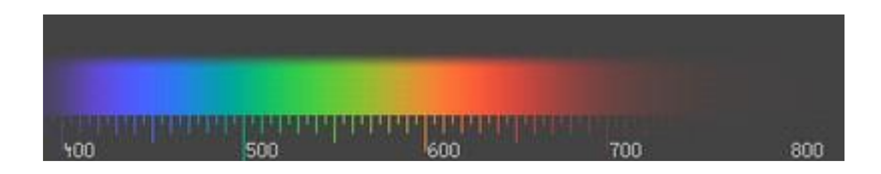



Рис. 4.2. Спектр дневного света

*Влияние цвета на физиологию человека* (табл. 4.2)

*Красный.* Возбуждающий, согревающий, активный и энергичный цвет, проникает и активизирует все функции организма. На короткое время увеличивает мышечное напряжение, повышает давление и ускоряет ритм дыхания.

*Оранжевый*. Тонизирующий цвет. Действует в том же направлении, что и красный, но в меньшей степени, улучшает пищеварение, способствует омолаживанию, раскрепощению, укрепляет волю, освобождает от чувства подавленности.

*Желтый.* Тонизирующий цвет. Физиологически оптимальный. Наименее утомляющий, стимулирует зрение и нервную деятельность, активизирует двигательные центры, вызывает радостное настроение, генерирует энергию мышц.

*Зеленый*. Физиологически оптимален. Уменьшает кровяное давление, расширяет капилляры, успокаивает, повышает мышечную работоспособность на долгое время. Воздействует противоположно красному. Зеленый цвет оказывает освежающее и одновременно успокаивающее действие на организм.

*Голубой*. Успокаивающий цвет, снижает мышечное напряжение, понижает кровяное давление, успокаивает пульс, замедляет ритм дыхания, настраивает на терпение, снижает аппетит.

*Синий.* Успокаивающее действие переходит в угнетающее, способствует торможению функций физиологических систем человека, обладает антисептическими и бактерицидными свойствами. Длительное воздействие синего цвета может спровоцировать депрессию.

*Фиолетовый*. Соединяет эффект красного и синего. Производит угнетающее воздействие на нервную систему.

Табл. 4.2.

Воздействие цвета на организм человека

| Цвет | Артериальное давление | Пульс и частота дыхания | Эмоции | Время реакции | Работоспособность |
|---|---|---|---|---|---|
| Красный | Повышается | Учащается | Возбуждает, стимулирует | Уменьшается | Вначале (до 20 мин) повышается, затем снижается более чем на 50% |
| Оранжевый | Незначительно повышается | Незначительно учащается | Возбуждает, бодрит | Незначительно уменьшается | То же, но менее выражено |
| Желтый | Не изменяется | Не изменяется | Уравновешивает | Не изменяется | Не изменяется |
| Голубой | Слегка снижается | Слегка Замедляется | Успокаивает | Не изменяется | Несколько повышается |
| Синий | Снижается | Замедляется | Несколько затормаживает | Слегка замедляется | Повышается на 3…9% |
| Фиолетовый | Снижается | Замедляется | Угнетает | Замедляется | Стойко снижается |

***Закон Вебера — Фехнера*** (открыт в 1858 г.) — эмпирический «основной психофизический закон», заключающийся в том, что интенсивность ощущения пропорциональна логарифму интенсивности стимула (раздражения).

Интенсивность ощущения (яркость) характеризуется формулой

$$E = K \lg \frac{I_{тек}}{I_{\min}},$$

где $K$ –постоянная (имеет размерность яркости – кандела/м$^2$), $I_{\min}$ – нижний абсолютный порог интенсивности света (размерность – кандела или свеча). Эта формула справедлива для средних значений $I$.

В указанных выше выражениях присутствует субъективное понятие ощущения. Поэтому численное значение параметра носит приблизительный характер и поэтому исследования продолжаются и в наше время.

В ряде экспериментов, начиная с 1834 года, Э. Вебер показал, что новый раздражитель, чтобы отличаться по ощущениям от предыдущего, должен отличаться от исходного на величину, пропорциональную исходному раздражителю. Например, чтобы два предмета воспринимались как различные по весу, их вес должен различаться на 1/30. Для различения яркости двух источников света необходимо, чтобы их яркость отличалась на 1/100. На основе этих наблюдений Г. Фехнер в 1860 году сформулировал «основной психофизический закон», по которому сила ощущения *E* пропорциональна логарифму ин-

тенсивности раздражителя $I_{тек}$. Если $I_{тек} < I_{\min}$, то раздражитель совсем не ощущается.

Так, люстра, в которой 8 лампочек, кажется нам настолько же ярче люстры из 4-х лампочек, насколько люстра из 4-х лампочек ярче люстры из 2-х лампочек. То есть, количество лампочек должно увеличиваться в несколько раз, чтобы нам казалось, что прирост яркости постоянен. И наоборот, если прирост яркости постоянен, нам будет казаться, что он уменьшается. Например, если добавить одну лампочку к люстре из 12 лампочек, то мы практически не заметим прироста яркости. В то же время, одна лампочка, добавленная к люстре из двух лампочек, даёт значительный кажущийся прирост яркости.

*Порог чувствительности по интенсивности*. Диапазон чувствительности к воспринимаемому свету очень велик. Наиболее интенсивный свет, воспринимаемый человеком, на пороге болевых ощущений превосходит наименьшую интенсивность воспринимаемого света в $10^{16}$ раз. Наименьший порог чувствительности по интенсивности – различимость зажженной спички на расстоянии 80 км. Это эквивалентно тому, что в глаз попадает 8 квантов света в секунду (в зеленом свете) или мощности $3{,}1 \cdot 10^{-18}$ Вт. Примеры уровней интенсивности света:

- Порог болевого ощущения – 160 дб.;
- Солнечный свет – 140 дб.;
- Экран монитора – 60 дб.;
- Нижний порог – 0…20 дб.

Дифференциальный порог по интенсивности света также существенно зависит от интенсивности источника и от длины волны.

По ***закону Тальбота*** кажущаяся яркость мерцающего источника равна средней за период наблюдения яркости. При частоте световых вспышек более 15 Гц глаз перестает видеть мерцание.

Полная адаптация зрения в темноте достигает только через 50 мин., а адаптация из темноты к свету – до 10 минут. Эти факторы очень важны для водителей транспортных средств при въезде и выезде из туннеля.

*Логарифмические единицы измерения отношения энергии*

В оптике, акустике, связи, электротехнике и радиотехнике часто рассматривают не сами значения энергии, интенсивности или мощности, а их отношения, т.к. эта информация характеризует распространение энергии, ее ослабление, изменение в пространстве. Физика этих явлений такова, что в основном эти параметры изменяются по показательному закону, поэтому отношение энергетических и силовых характеристик вычисляют в логарифмических единицах – децибелах. В децибелах измеряется уровень, т.е. величина, пропорциональная десятичному логарифму отношения энергий (мощностей, интенсивно-

стей): ***N=10 lg(I₁/I₂).*** Т.к. интенсивность звука $I= p^2_m/2\rho c$, то уровень интенсивностей можно выразить через давления, сответствующие этим интенсивностям: $N=10\,lg(I_1/I_2)= 10\,lg(p^2_{m1}/2\rho c)/(p^2_{m2}/2\rho c)=20lg(p_{m1}/p_{m2})$.

### *Поле зрения*

**Поле зрения** – выраженное в угловой мере (градусы, минуты) пространство, в пределах которого предмет может быть воспринят, если голова и оба глаза неподвижны.

Для бинокулярного зрения без патологических изменений поле зрения человека-оператора может быть достаточно точно аппроксимировано прямоугольником, вытянутым по горизонтали (рис. 4.3).

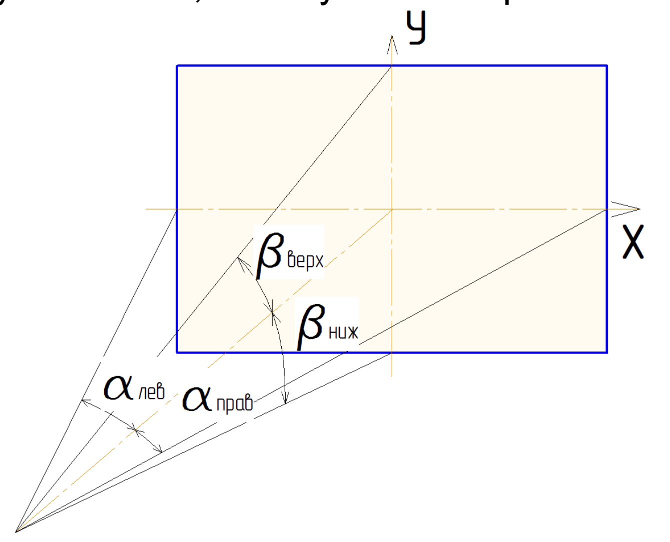



Рис. 4.3. Поле зрения

Поле зрения (при бинокулярном зрении) симметрично относительно оси У и соответствует углу зрения $\alpha = 120^0...160^0$, причем $\alpha_{лев} = \alpha_{прав} = \dfrac{\alpha}{2}$.

Поле зрения $\beta$ несимметрично и смещено по отношению вертикали вниз. $\beta = 120^0...130^0$, $\beta_{верх} = 55^0...60^0, \beta_{ниж} = 65^0...70^0$.

Как показывают эксперименты, внутри поля зрения существует *зона оптимальной видимости* (*поле ясного зрения*) также симметричная относительно центральной оси, так что

$$\alpha_{лев} = \alpha_{прав} = 32^0, \quad \beta_{верх} = 25^0, \beta_{нижн} = 35^0.$$

Поле зрения, находящееся снаружи от поля ясного зрения, называют *периферическим* (рис. 4.4).

Кроме *поля ясного зрения* существует *поле центрального зрения* 2-4$^0$, в котором человек различает мелкие объекты и может читать (оно находится в центре поля зрения).

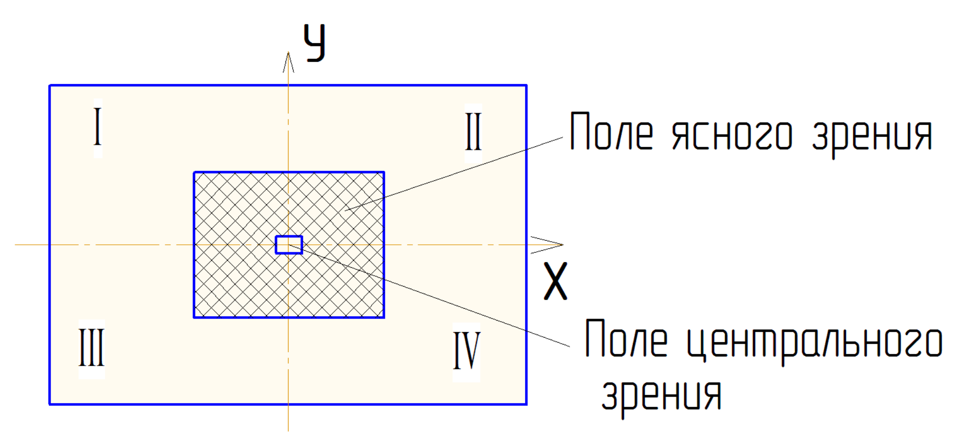



Рис. .4.4. Поле ясного и центрального зрения

При проектировании информационной панели необходимо учитывать, что все характеристики зрительного анализатора применительно к периферическому зрению значительно хуже соответствующих характеристик *центрального зрения*.

Кроме того, экспериментально доказано, что квадранты зрения (I – IV) не равноценны с точки зрения качественных показателей и характеристик зрительного анализатора. Наилучшие показатели имеет квадрант I, наихудшие IV (нумерация квадрантов отражает их приоритет). Поэтому, наиболее важную информацию, определяющую качество работы оператора и всей ЭС, следует размещать в квадранте I.

Кроме того, приведенные параметры поля зрения и углы позволяют разработчику машины и системы в целом определять в каждом конкретном случае предельные размеры проектируемой информационной панели в зависимости от проектируемого параметра $D$, характеризующего удаление оператора от информативной панели. Следует иметь в виду, что рекомендуемое значение $D \cong 700$ мм.

Определим размер панели:

$$X = x_л + x_п, \quad x_л = x_п = D tg\frac{\alpha}{2}.$$

Тогда предельный размер по оси $x$

$$x_{пред} = 2\, tg\frac{\alpha}{2} D.$$

Соответственно по вертикальной оси предельный размер панели

$$y_{пред} = D(tg\beta_в + tg\beta_н).$$

Очевидно, что размеры информационной панели по указанным соотношениям в значительной мере определяют возможные варианты компоновок панели в зависимости от числа индикаторов, которые нам необходимо разместить, их геометрических параметров и степени важности информации. Размещать их за пределами поля зрения недопустимо. На практике, правда, бывают отклонения, но их надо учи-

тывать во временных и других аспектах. Второй путь – отойти от рекомендуемого расстояния $D$.

Примеры: панели пультов атомной электростанции. Это двухъярусные панели для одного оператора, в этом случае расстояние $D$ разное для этих ярусов.

Третий путь также компромиссный – два оператора с удлиненным пультом. Однако возникает конфликтная ситуация несовместимости операторов: один захватывает лидерство и в конечном итоге сводит работу другого к нулю.

На рабочем месте человек обычно имеет небольшой наклон головы, стоя – $10^0 \ldots 15^0$ и сидя $15^0 \ldots 25^0$, поэтому эти углы нужно также учитывать при формировании рабочего места (рис. 4.5).

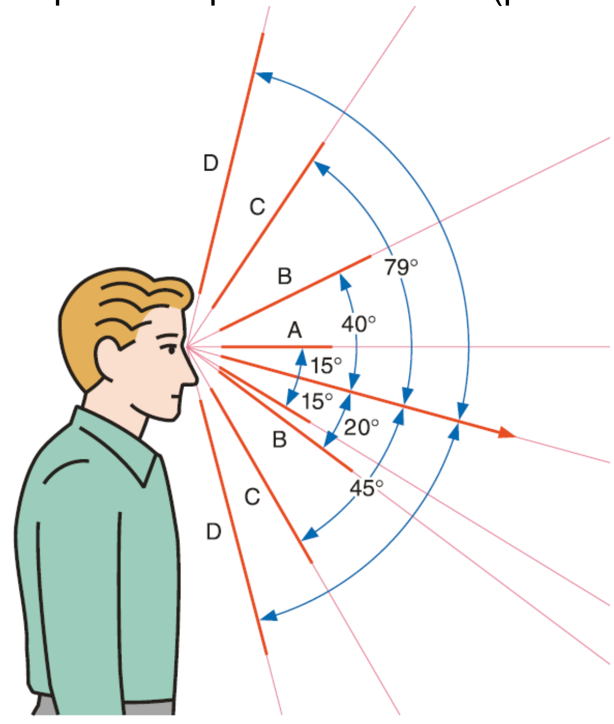



Рис. 4.5. Границы поля зрения с учетом наклона головы (границы А - оптимального поля зрения, В – ясного зрения, С - максимального зрения, D - расширенного поля зрения за счет движения головы)

Для оптимального размещения оборудования рабочего места нужно соблюдать следующие рекомендации относительно поля зрения:

- Следует избегать излишних поворотов головы. Желательно перемещать взгляд на разные предметы, таким образом, предотвращается перенапряжение и усталость глаз.
- Следует располагать постоянно используемые объекты в оптимальном поле зрения **А** (фиксация объектов глазами без лишних поворотов головы). Часто используемые объекты – в поле зрения **В**.

- По возможности следует располагать все объекты в пределах максимального поля зрения **С**.
- Часто используемые ящики следует располагать на равных расстояниях. В таком случае сотруднику не требуется перефокусировать свой взгляд на различные расстояния каждый раз, когда меняется угол зрения.

Для ориентации в пространстве человек использует стереоскопическое зрение при помощи двух глаз. Бинокулярным зрением, т.е. стереоскопическим, обладают не все млекопитающие. Например, зайцы, лошади, коровы, овцы им не обладают. Поле зрения каждого глаза у этих животных не пересекается с полем зрения второго глаза (или пересекается незначительно). Это связано, по-видимому, с тем, что животным необходимо иметь как можно большее поле зрения, чтобы наблюдать за хищниками, которые могут напасть на них. У кролика общее поле зрения – $360^0$, а фронтальное стереоскопическое всего $20^0$. Для таких животных, как рыси, медведи, волки бинокулярное зрение необходимо, т. к. им нужно точно знать расположение жертвы для успешной охоты.

*Минимальный угол зрения*

Острота зрения характеризуется минимальным углом зрения. Минимальный угол зрения (МУЗ) представляет собой одну из основных характеристик остроты зрения человека, имеющую непосредственное отношение к проектируемой информационной панели. МУЗ – это минимальный угол, при котором равноудаленные точки воспринимаются как две отдельные точки (рис. 4.6). Оценивается через различные объекты, соответствующие 50% вероятности распознавания.

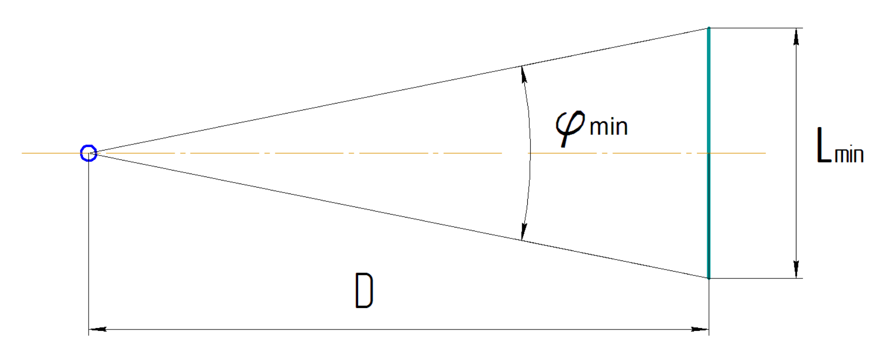



Рис. 4.6. Определение минимального угла зрения

Минимальный угол зрения

$$\varphi_{\min} = 2\, arctg \frac{L_{\min}}{2D} .$$

Он определяет наименьшие размеры информационного поля, различимые для оператора, удаленного от него на расстояние $D$. Ис-

следования показывают, что $\varphi_{\min}$ не является неизменной величиной и зависит, по крайней мере, от следующих факторов:

1. Освещенности информационного поля;
2. Контрастности сигнала по отношению к фону;
3. Времени, которое предоставляется оператору для различения цели (сигнала).

Минимальный угол зрения определяется экспериментально при рассмотрении двух параллельных контрастных отрезков, сближая их друг к другу. Как только отрезки начинают сливаться, то это является критерием определения этого угла. При нормальном зрении и нормальной освещенности минимальный угол равен 1 дуговой минуте, или 1/60 градуса=3х10$^{-4}$ рад. При $D \cong 700$ мм минимальный размер L=0,2 мм. Предел различительной способности глаза во многом обусловлен анатомическими размерами фоторецепторов сетчатки глаза. Так, угол зрения 1' соответствует на сетчатке линейной величине 0,004 мм, что, например, равно диаметру одной колбочки. При меньшем расстоянии изображение падает на одну или две соседние колбочки, и точки воспринимаются слитно. Раздельное восприятие точек возможно только в том случае, если между двумя возбужденными колбочками находится одна неактивная.

Контрастность цели, как показывают исследования, влияет на $\varphi_{\min}$ достаточно сложным образом. Например, имеется разная зависимость для системы «белый объект – черный фон» (в этом случае сигнал может слепить оператора) и наоборот. Существенно влияет на $\varphi_{\min}$ время, отводимое оператору на опознание сигнала.

*Индикаторы и шкалы приборов*

Требования к средствам отображения информации прописаны в ГОСТ Р 51341-99, ГОСТ 22902-78.

О приемлемых габаритах индикаторных панелей (сигнальные лампочки, световые табло, оцифровка информации и т.д.) судят в зависимости от расстояния оператора от информационной панели.

Рассмотрим организацию взаимодействия человека с машиной в задачах контроля и управления. Как определить время, необходимое оператору для считывания информации? Применительно к объектам с дискретными рабочими процессами время, располагаемое оператором, определяется временем экспозиции неизменного состояния соответствующего индикатора.

Если речь идет о непрерывных рабочих процессах и соответствующем контроле состояния объекта, (например, контроль давления в системе по традиционному прибору со шкалой) то тут для определения времени, которым располагает оператор, приходится учитывать

целый ряд характеристик оператора и, в частности, дифференциальный порог чувствительности зрительного анализатора.

В данном случае приходится считаться с тем, что оператор не в состоянии различить два смежных положения стрелки индикатора, отличающихся между собой на величину минимального дифференциального порога. Наличие дифференциального порога в зрительном анализаторе приводит к тому, что и в объектах с непрерывными процессами контроль состояния объекта осуществляется фактически дискретным образом.

В эргономических справочниках указано, что человек в состоянии различить показание шкальных приборов с погрешностью 0,5 цены деления шкалы, поэтому из этого требования определяют размер шкалы и цены деления. Направление возрастания показаний приборов должно быть либо по часовой стрелке, либо слева направо, либо снизу вверх (рис. 4.7), кроме редких исключений.

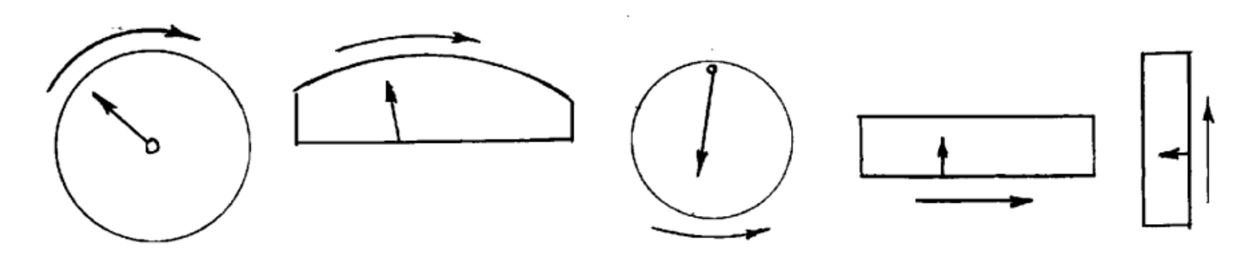


Рис. 4.7. Направление движения стрелки прибора при возрастании показаний

Прибор должен быть правильно ориентирован относительно линии взгляда, перпендикулярно ей. Например, на рис. 4.8 экран монитора расположен низко, поэтому требуется несколько наклонить экран, чтобы оператор при работе стоя не нагибался и не сгибал шею.

В противном случае возникают искажения, в частности, в случае стрелочных приборов возникает ошибка, связанная с параллаксом. Поскольку стрелка прибора расположена несколько выше шкалы, то при взгляде на нее сбоку, кажется, что она указывает на иное место, чем если бы на нее смотрели перпендикулярно плоскости шкалы (рис. 4.9).




Рис. 4.8. Дисплей на пульте расположен низко, поэтому требуется наклон экрана

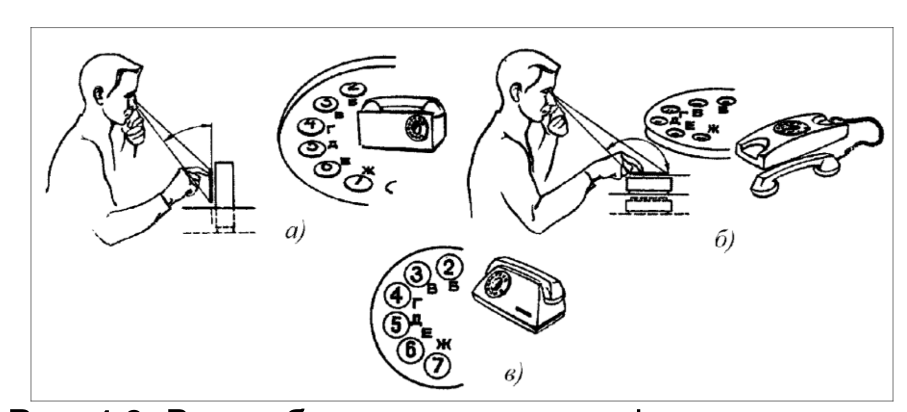



Рис. 4.9. Вид наборного диска телефонного аппарата при различных углах обзора

Чтобы избавиться от излишнего освещения приборов внешним светом, над панелью выполняют козырьки, или отдельные приборы помещают в достаточно глубокие «колодцы» с черными стенками, а покровные стекла наклоняют и им придают специальную форму.

*Функциональные взаимодействия оператора с индикаторами*

В общем случае различаются два типа этих взаимодействий.

- При первом типе оператор находит и наблюдает индикаторы.

- При втором типе внимательность оператора возбуждается сигналом индикатора (например, предупредительное мигание или нормализованная тональность) или оператора предупреждают сигналы от одного или многих индикаторов (например, комбинация оптических и акустических индикаторов), или оператор предупреждается, что по состоянию системы он должен повторить проверку индикаторов.

По ГОСТ Р 51341-99 «Средства отображения информации, 2 часть» у человека-оператора могут быть две задачи:

- задача обнаружения сигнала;
- задача наблюдения сигнала.

В первом случае диапазон поля зрения определяется по рис. 4.10:

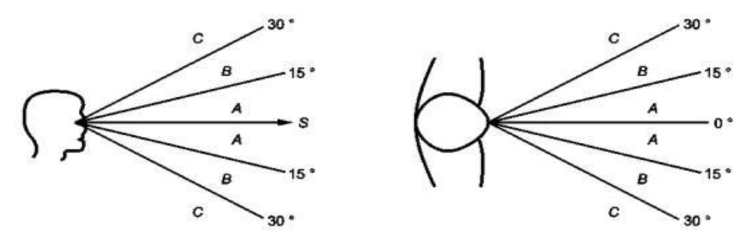



Рис. 4.10. Поле зрения при обнаружении сигнала

Во втором случае – по рис. 4.11:

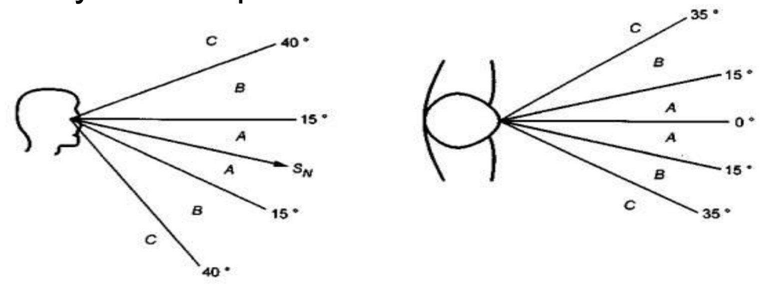



Рис. 4.11. Поле зрения при наблюдении сигнала

На рис. 4.10, 4.11 SN - ось зрения с полем зрения от 15° до 35° по горизонтали. А – рекомендуется, В - пригодно (диапазон допускается применять, если рекомендуемый диапазон не может быть применен), С - непригодно.

Важнейшие индикаторы должны непременно находиться в области естественной линии взгляда оператора (область А). Индикаторы менее важной информации должны размещаться в направлении внешних полей зрения (область В или, при необходимости, область С).

Рекомендуемые высоты графических знаков *h* обеспечиваются при угле α=18 - 22′; допустимые высоты знаков обеспечиваются при угле α=15′ - 18′. Высота знака при угле α <15′ недопустима. Рекомендуемые размеры знаков могут быть рассчитаны приблизительно: - рекомендуемый диапазон ширины знака *w* составляет от 60 до 80 % вы-

соты знака. Если поверхность индикатора закруглена и угол зрения не является прямоугольным, то ширина знака должна составлять 80 – 100 % его высоты. Ширина знака менее 50 % его высоты недопустима (рис.4.12).

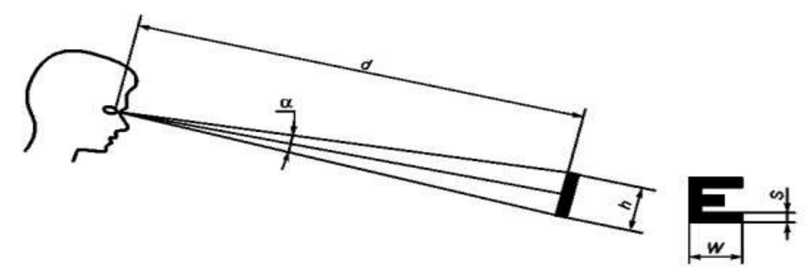



Рис. 4.12. Основные параметры знаков

Построение шкалы приборов по ГОСТ Р 51341-99 должно базироваться на основных графических элементах, описывающих шкалу (рис. 4.13):

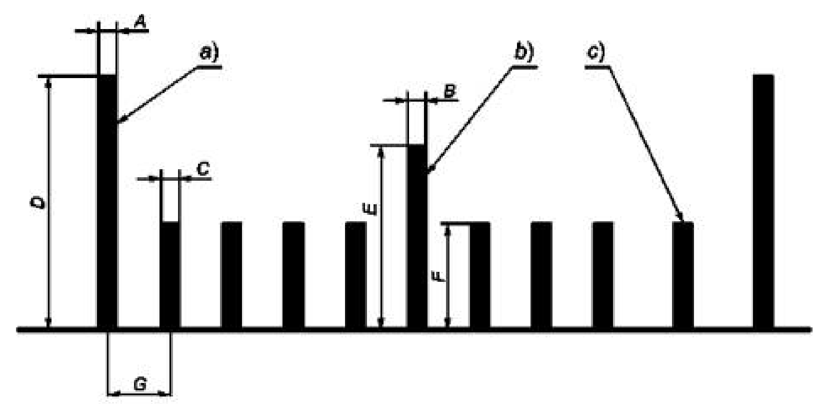


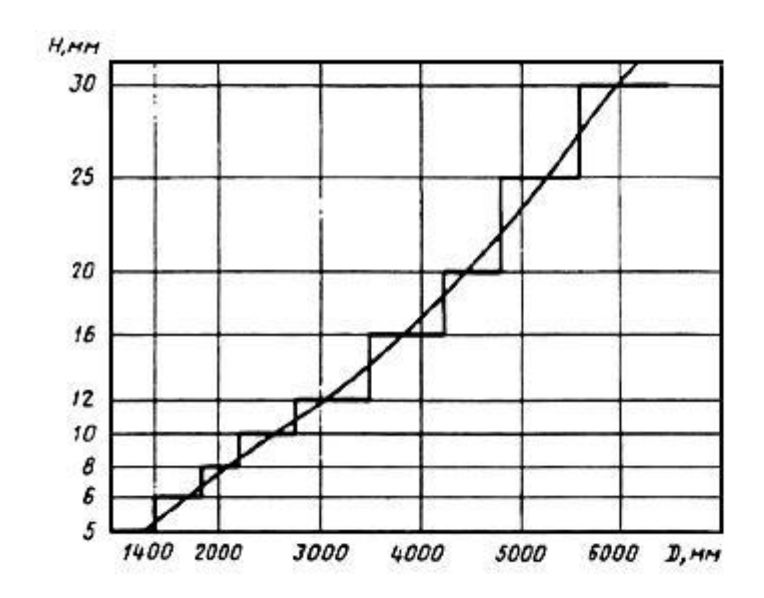

Рис. 4.13. Обозначение штрихов:
а) длинный штрих; b) средний штрих; с) короткий штрих.

Размеры делений A...G указаны в табл. 4.3 при нормальной освещенности при расстоянии до шкалы 700 мм.

Табл. 4.3. Размеры штрихов на шкалах

| Обозначение по рисунку 5 | Угловые минуты | мм |
|---|---|---|
| Ширина длинной линии A | 1,5 | 0,3 |
| Ширина средней линии B | 1,5 | 0,3 |
| Ширина короткой линии C | 1,5 | 0,3 |
| Высота длинной линии D | 24 | 4,9 |
| Высота средней линии E | 18 | 3,7 |
| Высота короткой линии | 12 | 2,4 |
| Минимальное расстояние между соседними линиями *G*:<br>- нет деления или деление пополам;<br>- деление на пять | <br><br>4<br>12 | <br><br>0,8<br>2,4 |

Для других расстояний размер деления A...G определяется по формуле x=d×L/700, где d – расстояние, L – размер деления A...G. Размер шрифта можно определить по рис. 4.14.



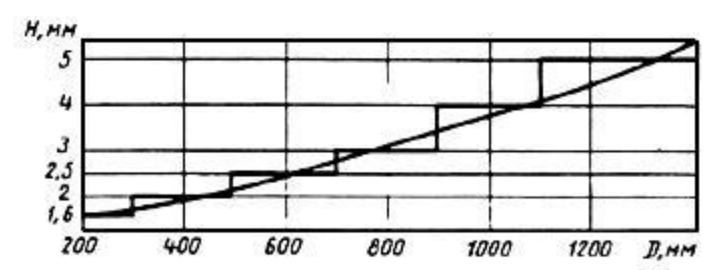




Рис. 4.14. Графики зависимости размера шрифта *H* от расстояния до прибора *D* (ГОСТ 5365-83)

В тесной взаимосвязи с рассматриваемыми вопросами находится такая важнейшая характеристика зрительного анализатора как критическая частота мельканий. В ее основе лежит инерция зрения. Суть явления состоит в том, что зрительные ощущения в мозговых центрах анализатора сохраняется в течение ~150 миллисекунд после исчезновения сигнала-раздражителя. Это явление имеет многочисленные приложения (кино, телевидение). Применительно к задачам контроля различимого состояния объекта критическая частота мельканий объекта дает естественные ограничения по допустимой частоте смены различимых состояний индикатора.

Критическая частота мельканий объекта дает естественное ограничение по быстродействию процессов по каналам контроля, поручаемым оператору. Это один из примеров, который позволяет правильно распределять функции между оператором и автоматическим считывающим устройством.

Устройства отображения можно разделить на устройства восприятия «картинки» (устройства качественной информации) и устройства

восприятия численно-буквенной информации (устройства количественной информации).

К устройствам восприятия «картинки» можно отнести различные пиктогаммы (рис. 4.15).



Рис. 4.15. Пиктограммы – запрещающие знаки по ГОСТ Р 12.4.026-2001

Пиктограммы отличаются от надписей тем, что они имеют международный характер и понятны всем людям независимо от языка.

## 4.3. Слуховой анализатор

Слуховой анализатор применительно к задачам контроля и управления играет вспомогательную роль. Хотя в ряде случаев информация, получаемая оператором по слуховому каналу, играет решающую роль: акустическая служба на подводном флоте и в прошлом веке в противовоздушной обороне, дирижер, телефонная справочная служба, сапер при работе с миноискателем, врач при работе со стетоскопом (рис. 4.16, 4.17).



Рис. 4.16. Акустическая служба в начале 20 века



Рис. 4.17. Стетоскоп

Слуховой анализатор также имеет четко выделяемые три основных элемента в своей структуре: регистратор, нервные пути, мозговой центр.

Рецептор – барабанная перепонка с весьма сложным устройством среднего уха. В итоге регистратор преобразует звуковые колебания окружающей среды в частотно-модулированный нервный процесс.

Основным параметром звуковых сигналов является частота и интенсивность звука, субъективно воспринимаемая как громкость звука. Диапазон чувствительности слухового анализатора в частотной области укладывается в в 16 – 22000 Гц, т.е это нижний и верхний абсолютный порог чувствительности (многие животные воспринимают звуки значительно более высоких частот, чем человек: собаки – до 44 кГц, крысы – до 72 кГц, летучие мыши – до 115 кГц).

Средняя величина дифференциального порога по частоте вычисляется:

$$\frac{\Delta F}{F} \approx 0{,}002.$$

Однако она не является постоянной величиной, а зависит от частоты и интенсивности. Дифференциальный порог существенно зависит также от времени звучания. Эта зависимость специфична для каждой частоты. Субъективная мера частоты звука называется высотой звука.

В субъективном ощущении звука его интенсивность и частота тесно связаны. На низких частотах (до 1000 Гц) при увеличении интенсивности звука кажется, что его высота уменьшается, хотя частота звука остается той же самой. На высоких частотах (выше 3000 Гц) при увеличении интенсивности звука кажется, что его высота увеличивается. Только в диапазоне 1000-3000 Гц субъективное ощущение высоты звука соответствует его высоте независимо от его интенсивности.

Временной порог чувствительности слухового анализатора, т. е. длительность звукового раздражителя, необходимая для возникновения ощущения, так же как пороги по громкости и высоте, не является постоянной величиной. С увеличением, как интенсивности, так и частоты, он сокращается. При достаточно высокой интенсивности (30 дБ и более) и частоте (1000 Гц и более) слуховое ощущение возникает уже при длительности звукового раздражителя равной 1 мс. Однако при уменьшении интенсивности звука той же частоты до 10 дБ временной порог достигает 50 мс. Аналогичный эффект дает и уменьшение частоты.

Оценка громкости и высоты очень коротких звуков затруднена. При длительности синусоидального звукового сигнала в течение 2–3 мс человек лишь отмечает его наличие, но не может определить его характеристик. Любой звук оценивается только как «щелчок». С увеличением длительности звука слуховое ощущение постепенно проясняется: человек начинает различать высоту и громкость. Минимальное время, необходимое для отчетливого ощущения высоты тона, равно примерно 50 мс.

Дифференциация (различение) двух звуков по частоте и интенсивности также зависит от отношения их по длительности и от интервала между ними. Как правило, звуки, равные по длительности, различаются точнее, чем неравные по длительности.

Латентный период (т.е. период, в течение которого человек определяет характеристики звука) для звукового сигнала средней интенсивности составляет 120-180 мс.

Особенности звукового анализатора:

- способность к приему информации в любой момент времени;
- способность воспринимать звуки в широком диапазоне и выделять необходимые;
- способность устанавливать место нахождения источника.

Характеристики анализатора:

- абсолютный порог слышимости (зависит от тона, метода предъявления, субъективных особенностей);
- дифференциальный порог слышимости:

– по интенсивности $K=dI/I_{тек}$ (уровень звукового давления $L=20^x lgP/P_0$, $P_0$=0,00002 Па - мин порог) наилучший от 0,02-0,065;
– по частоте K=df/f (500-5000 Гц, 0,002-0,003);

- временные характеристики:
  – различение интервалов между монотонными сигналами (0,5-2 мс);
  – время полного восприятия чистых тонов (200-300 мс);
  – пороговое время восприятия прерывистых тональных сигналов (80-150 мс).

Большое значение в практическом приложении имеют характеристики человека по интенсивности звука. Интенсивность звука $I= p^2_m/2\rho c$ [Вт/м$^2$]. При этом диапазон по интенсивности у человека велик: на пороге боевого ощущения в $10^{16}$ раз превосходит минимальную интенсивность.

*Уровень звукового давления L* в воздухе измеряется в децибелах по приведенной выше формуле относительно значения интенсивности звука, которое соответствует звуковому давлению $p_0=2\ 10^{-5}$ Па. Это значение давления соответствует минимальному значению давлению слышимого человеческим ухом звука (порог чувствительности) на частоте f=1 кГц, причем в этом случае интенсивность $I= 10^{-12}$ Вт/м$^2$. Звук меньшего давления и интенсивности называют фоном. При $p=0,5x10^5$ Па (0,5 атм) барабанная перепонка может быть повреждена. Уровень звукового давления

$$L=20lg(p_1/\ p_0).$$

Обратите внимание, что здесь фигурируют не амплитудные значения давлений, а действующие значения давлений, которые при гармоническом законе определяются по формуле $p= p_m{}^x2^{-0,5}$. Расчеты показывают, что при увеличении интенсивности звука в два раза уровень звукового давления увеличивается на 3 дБ. Увеличение уровня давления на 1 дБ близко к наименьшему различимому на слух изменению громкости звука.

Примеры. Запуск космического корабля – 180 дБ, порог болевого ощущения – 140 дБ, тихий шепот – 20–40 дБ, порог слышимости 0–20 дБ.

Табл. 4.4. Действие звука на человека

| Интенсивность звука | | Субъективная оценка |
|---|---|---|
| Уровень звука, дБ | Вт/см$^2$ | - |
| 0 | $10^{-16}$ | Порог слышимости |

| | | |
|---|---|---|
| до 80 | $\leq 10^{-8}$ | Звук воспринимается нормально |
| 90 | $10^{-7}$ | Звук беспокоит, разговор требует повышенного голоса |
| 100 | $10^{-6}$ | Звук мешает |
| 110 | $10^{-5}$ | Разговор невозможен |
| 120 | $10^{-4}$ | Звук подавляет и раздражает |
| 130 | $10^{-3}$ | Болевые ощущения |

Действия акустических индикаторов могут быть основаны на:

- появлении звука;
- частоте;
- продолжительности;
- чередовании интервалов звука и пауз.

Для безопасных или требующих действий решений предпочтительно одновременное использование оптических и акустических индикаторов. Оператор должен иметь возможность после обнаружения информации выключить акустический сигнал, в то время как оптический индикатор (с сообщением) остается.

Акустические индикаторы позволяют оператору получать информацию, когда он занят выполнением других задач(например, во время хирургической операции транслируются звуковые сигналы пульса пациента). Акустические индикаторы должны применяться в тех случаях, когда оператор визуально нагружен или если представленная информация требует немедленных действий, когда выдается простое и короткое сообщение, или если оператору приходится двигаться на рабочем месте.

Чтобы не отвлекать работающих вблизи, акустические индикаторы должны создавать минимум помех на других рабочих местах. Для того, чтобы установить соответствие акустических индикаторов этим требованиям, они должны быть испытаны в реальных условиях работы.

Нецелесообразно использовать много акустических индикаторов, т.к. может произойти путаница.

Акустические индикаторы очень эффективны для передачи информации, требующей немедленных действий оператора (например тревога), простых информации (например, указаний о двух состояниях типа ВКЛ./ВЫКЛ., ВЫСОКО/НИЗКО и т.д.), информации о временных событиях (например, чтобы обратить внимание оператора на начало и/или конец процесса) и информации об изменении состояния системы (например, чтобы обратить внимание оператора на другие индикаторы, обычно оптические). Применение акустических индикаторов должно быть, по возможности, ограничено этими функциями. Большое значение звуковых сигналов – в передаче *дублирующей информации* об аварийных ситуациях. В авиации часто сообщение об аварийной

ситуации записывается ровным женским голосом, т.к. летчики обычно мужчины, поэтому на женский голос реакция сильнее, а с другой стороны, не создает паники.

Практическое значение имеют *параметры пространственного определения звука – направление звука*. С увеличением интенсивности – порог уменьшается. При нормальном слухе значение порога – $4^0$ в горизонтальной плоскости, $10^0$–$15^0$ в вертикальной плоскости (определение направления звука).

Человек способен определить направление звука в горизонтальной плоскости с точностью 20%, при воздействии перегрузок точность падает, но незначительно (до 30% при перегрузке 7g). При определении направления звука возникают трудности, если источник звука расположен точно впереди или сзади. В результате человек может ошибиться на 180°.

Звук в отличие от света имеет существенные изменения параметров при распространении в среде с различным давлением и плотностью. Например, в воде человек не может правильно определить направление звука, т.к. звук воспринимается костями черепа.

В последнее время интерес к слуховому анализатору значительно вырос, во-первых, в связи с проблемой разгрузки зрительного анализатора, т.к. поток зрительной информации во многих эргатических системах превосходит пропускную способность оператора. Во-вторых, в связи с возможностью обработки и анализа звуковых сигналов, например, при помощи активных наушников (рис. 4.18). Они применяются в армии для усиления тихих звуков (например, чтобы услышать разговор шепотом или тихие шаги, для поглощения звуков от взрывающихся гранат, для комфортного общения по рации, находясь в шумном месте или в бою с активным применением пиротехники).



Рис. 4.18. Шлем с активными наушниками

*Шумы и музыка*

Шум при частоте F>500 Гц мешает работе, вызывает ошибки намного чаще, чем шум на частотах < 500 Гц. Шум с изменяющейся интенсивностью более раздражителен, чем звук с постоянной интенсивностью. Самый неприятный шум – на частоте 4100 Гц, т.к. на ней у человека наибольшая чувствительность.

Шум тем неприятнее, чем меньше полоса частот (спектр частот) и выше его интенсивность. Неожиданно возникающий шум или однотонный звук вызывают резкое кратковременное снижение работоспособности.

Человек в возрасте 20 – 40 лет переносит шум лучше, чем в другом возрасте.

Музыка снижает фактор «монотонности» в работе. Однако необходим подбор типа музыки с точки зрения цели воздействия музыки. Психологи различают три типа музыки.

1. Фоновая музыка (20-30 мин) благоприятна при снижении производительности, вызванном усталостью.
2. Сосредотачивающая музыка (применяют в начале смены в течение 10 мин)
3. Музыка во время перерыва.

Не рекомендуется включать музыку во время еды. В любом случае не рекомендуются шлягеры и песни. Продолжительность звучания музыки должна быть ограничена.

## 4.4. Вибрационный анализатор

В реальных условиях оператору приходится работать в условиях вибрации, что вредно влияет на организм. При этом в технических системах вибрации часто являются предвестниками аварийного состояния системы. Применительно к роботам и манипуляторам существует проблема сохранения характера устойчивого движения рабочего органа без возбуждения колебаний (например, у копирующего манипулятора для подводных работ).

Диапазон чувствительности вибрационного анализатора 1–1000 Гц. Наиболее высокая чувствительность в зоне 200-250 Гц. Дифф. чувствительность по частоте $\Delta F / F_{тек}$ ~0,08.

Сенсорное восприятие вибрации осуществляют инкапсулированные нервные окончания кожи – клубочкообразные тельца Мейснера и тельца Пачини. Частотный диапазон вибрационной чувствительности первых составляет 2-40 Гц, а минимальное пороговое виброперемещение – 35-100 мкм. Для телец Пачини частотный диапазон восприятия вибрации 40-250 Гц, пороговое виброперемещение 1-10 мкм. Для ультразвукового диапазона частот эти механорецепторы не чувствительны. Внутренние органы человека также реагируют на вибрации.

Специальные шумо-вибрационные полосы (шумо-вибрационная разметка дороги) существенно снижают количество аварий. При наезде на полосу с рельефной поверхностью колеса начинают вибрировать (что вызывает вибрацию тела водителя и шум), предупреждая об опасности (рис. 4.19).



Рис. 4.19. Шумо-вибрационная разметка дороги

К сожалению, при обледенении и снежных заносах такая разметка не эффективна.

## 4.5. Тактильный анализатор

Чувствительные элементы – нервные окончания в кожном покрове человека. Исследования показали, что ощущения прикосновения или давления возникают только в том случае, если механический раздражитель вызывает деформацию кожной поверхности. Если давле-

ние производится при помощи диска на достаточно большую поверхность, то оно распределяется неравномерно – наименьшая его интенсивность ощущается во вдавленных частях поверхности, а наибольшая – по краям вдавленного участка. Соответственно этому опыт Г. Мейснера показывает, что при опускании руки в воду или ртуть, температура которых примерно равняется температуре руки, давление ощущается только на границе погруженной в жидкость части поверхности, т.е. именно там, где кривизна этой поверхности и ее деформация наиболее значительны.

Тактильная чувствительность зависит от ряда объективных и субъективных факторов. Так, она повышается при нагревании кожи и уменьшается при ее охлаждении. При продолжительной неизменной стимуляции тактильная чувствительность может адаптироваться к определенным раздражителям. В этом случае характерные ощущения не возникают.

Характеристикой сигнала – раздражителя является величина давления на кожу. Диапазон воспринимаемых давлений 3–300 г/мм$^2$ (роговица глаза от 3 мг/мм$^2$). Величина порога снижается по мере увеличения продолжительности воздействия. Дифференциальный порог составляет 7-30% от исходной интенсивности. Латентный период для тактильных раздражителей составляет 90-220 мс.

Абсолютный порог чувствительности для разных частей тела существенно различается:

Кончик языка..........................2 г/мм$^2$
Кончик пальцев........................3 г/мм$^2$
Тыльная сторона ладони................5 г/мм$^2$
Ладонная поверхность предплечья........8 г/мм$^2$
Тыл кисти............................12 г/мм$^2$
Икры ног............................ 15 г/мм$^2$
Поверхность живота...................26 г/мм$^2$
Тыльная поверхность предплечья........35 г/мм$^2$
Поясница.............................48 г/мм$^2$
Плотная часть подошвы...............250 г/мм$^2$

Дифференциальный порог чувствительности по диапазону ~0,07. Интенсивность ощущений зависит от скорости деформации кожи: чем выше скорость, тем больше ощущаемая интенсивность раздражителя. Для тактильного анализатора свойственно явление адаптации, заключающееся в том, что при стационарной интенсивности действия раздражителя ощущение исчезает совсем, несмотря на то, что интенсивность раздражения может значительно превышать среднюю величину абсолютного порога. Так, человек ощущает прикосновение и давление одежды и обуви лишь в момент их надевания. Давление часов на поверхность кожи руки или очков на кожу переносицы также очень быстро после первого прикосновения перестает ощущаться.

Минимальный порог и наивысшая пространственно различительная чувствительность (разрешающая способность) – на кончике языка (1 мм) и кончиках пальцев (2 мм), наименьшая – на спине, середине шеи и бедра (68 мм). Кожа ладоней рук и кончиков пальцев относится к числу наиболее восприимчивых к внешним механическим раздражениям участков тела человека. У слепых людей минимальные пороги чувствительности существенно улучшаются.

В копирующих манипуляторах (рис. 4.20) важно, чтобы оператор чувствовал усилия, которые имеют место в рабочем органе манипулятора – схвате (нужна силовая обратная связь). Это ощущение усилий воспринимается при помощи тактильных анализаторов.




Рис. 4.20. Работа с копирующим манипулятором

Тактильные индикаторы используются для передачи информации о состоянии поверхностей, рельефа или контуров предметов, которые доступны для касания (обычно руками или пальцами). Тактильные индикаторы в общем случае применяются в качестве дополнения к другим типам индикаторов.

Кроме того, тактильный анализатор – основной анализатор, который позволяет ощущать форму органов управления. Все органы управления в кабине экскаватора имеют разную форму и поверхность ручек. Органы управления или предметы с тактильным кодированием должны иметь простые, легко различимые геометрические формы, чтобы их можно было легко отличить, если они сгруппированы (примеры на рис. 4.21) в одном месте.

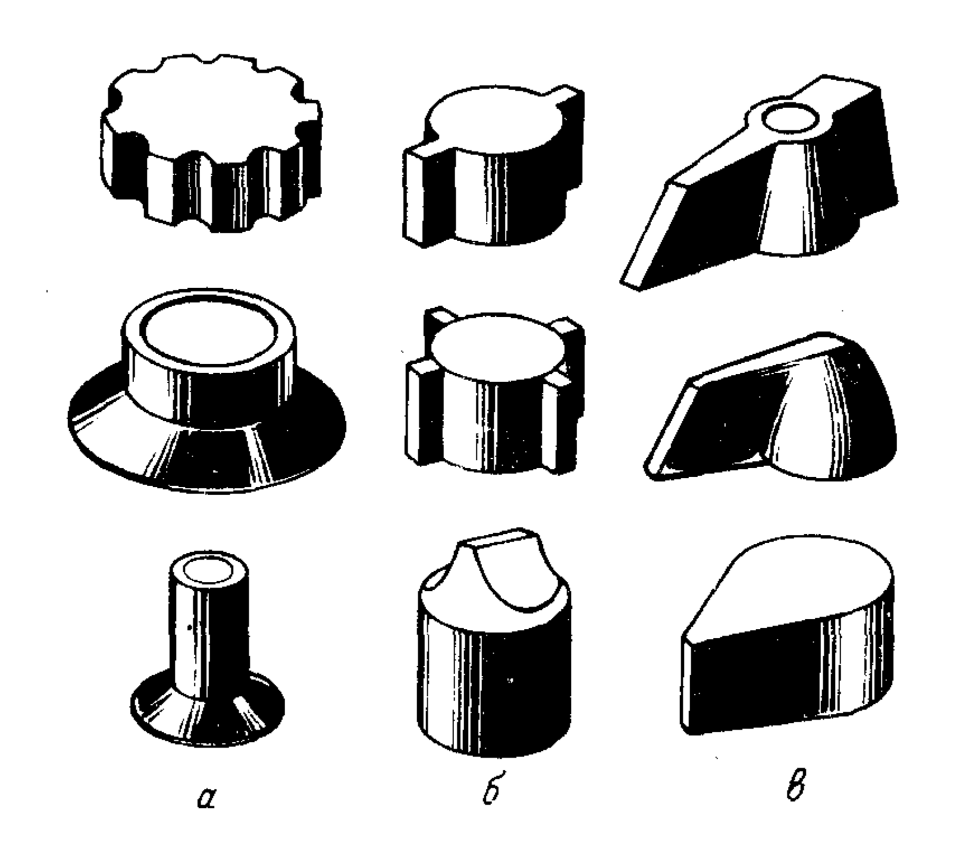



Рис. 4.21. Примеры различных форм переключателей

Тактильная плитка предназначена для обозначения пути человека внутри помещения, она имеет тактильный рисунок в соответствии с ГОСТ Р52875- 2007. Тактильная плитка необходима для передачи информации о пути и направлении движения слабовидящим и незрячим на улице и в помещениях (рис. 4.22).



Рис. 4.22. Тактильная плитка на тротуарах и станциях

Для этих же целей служат тактильные наклейки с шрифтом Брайля (рис. 4.23).




Рис. 4.23. Тактильные наклейки с шрифтом Брайля

Дизайнер Майкл Рупениан (Michael Roopenian) в своем концепте тактильной клавиатуры «Engrain Tactile Keyboard» предложил способ уменьшения ошибок при наборе текста (рис. 4.24).



Рис. 4.24. Клавиатура с тактильным распознаванием

## 4.6. Статико-динамический анализатор

*Статико-динамический анализатор* (СДА) выполняет функции восприятия информации о положении тела в пространстве и о действующем на него ускорении. Эти функции выполняет вестибулярный аппарат. Интерес к этому анализатору возрос в связи с космическими исследованиями и развитием авиации. Тут в отличие от других анализаторов актуальна проблема загрубления его чувствительности на основе специальных тренировок.

Анализатор имеет две группы рецепторов:

- первая группа реагирует на изменение положения тела в пространстве и отражает параметры вращательного движения и линейного ускорения (эту группу часто называют *вестибулярным анализатором*);
- вторая группа воспринимает информацию о величине и направлении силы тяжести.

Рецептор функционирует по принципу сведения ощущений в мозговых центрах анализатора к нулю при неизменном положении тела в пространстве. Методики исследования параметров СДА – тренировки, обеспечивающие желаемые параметры, а также все сведения, отно-

сящиеся к абс. и дифф. порогам чувствительности, являются в настоящее время закрытыми и не публикуются.

Условно ускорения подразделяют на *постоянные* ускорения (время действия ускорений не менее 1 мин.), *ударные* или *кратковременные* (время действия менее 1 мин.) и *вибрационные* (частота вибраций не менее 1 Гц). Для оценки величины ускорения пользуются обычно внесистемной единицей – безразмерным числом, характеризующим отношение величины ускорения к величине ускорения свободного падения g.

Абсолютный порог чувствительности по угловым ускорениям достигает 0,5 град/с$^2$. При длительности воздействия 0,1-3 с пороговое ускорение составляет от 5 до 1 град/с$^2$, причем сокращение времени воздействия приводит к увеличению порога чувствительности. При длительности нарастания перегрузки от 1,5g до 4,5g с порог чувствительности меняется в пределах от 0,24 до 0,1.

Важнейший фактор, вызывающий ощущения ускорения – градиент нарастания перегрузки. При градиенте 0,03-0,12 с$^{-1}$ величина латентного периода ощущения составляет 3,5 с, а при большем градиенте 0,12- 0,15 с$^{-1}$ - всего 1,2 с. Пороговое значение восприятия угловых скоростей за время 0,1 с составляет: по крену – 3,2 град/с, по тангажу – 2,6 град/с, по рысканью – 1,1 град/с.

## 4.7. Мышечно-суставный анализатор (двигательно-кинестетический)

*Мышечно-суставной анализатор* (МСА) или *двигательно-кинестетический анализатор* предназначен для восприятия информации о характере и параметрах движения тела и его частей (информация о положении отдельных частей тела, а также о силовом воздействии на них), т.е. МСА отражает параметры двигательной активности человека, поэтому его называют двигательным или кинематическим анализатором. В мышцах, сухожилиях, связках и на суставных поверхностях костей заложены *проприорецепторы*, которые возбуждаются при всяком изменении, происходящем в двигательном аппарате под влиянием сокращения или растяжения мышц. Эти рецепторы представлены сложно устроенными мышечными и сухожильными веретенами. Они имеют большое значение для точной координации движений, а также для восприятия пространства (рис. 4.25).



Рис. 4.25. Пример высокой координации движений

Рецепторы МСА воздействуют на механизм раздражения, возникающие при растяжении или расслаблении мышц и при взаимном перемещении в суставах. По существу, сигналы МСА – это сигналы обратной связи по положению отдельных частей тела и силовому воздействию, предназначенные для скоординированного перемещения этих частей в пространстве (в манипуляторах обратная связь по положению обеспечивает требуемую точность позиционирования). Для определения численных характеристик МСА используют специальные аппараты (рис. 4.26).

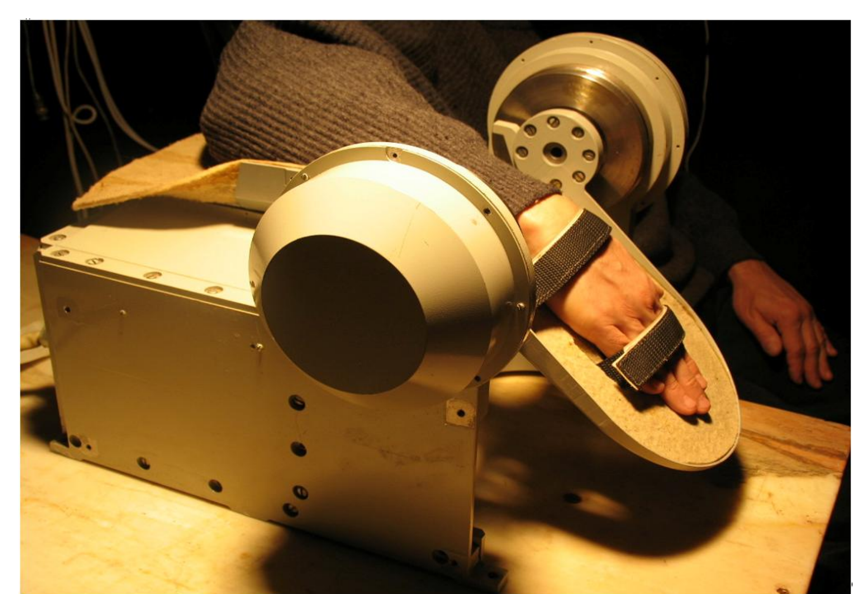


Рис. 4.26. Экспериментальная установка для определения характеристик МСА

Улучшение диф. порогов чувствительности зависит от тренированности, МСА особенно развит у спортсменов – гимнастов. У водите-

лей-профессионалов МСА развит на определенные движения ног и рук. МСА очень хорошо развит у слепых.

Примеры упражнений на МСА: в одной руке держать карандаш, посмотреть на него, закрыть глаза и попытаться коснуться пальцем другой руки кончика карандаша; с закрытыми глазами достать пальцами кончика носа.

### 4.8. Температурный анализатор

*Температурный анализатор* (ТА) свойственен лишь тем организмам, которые обладают изотермией тела. Температурное ощущение отражает разность температур тела и окружающей среды, то есть температурные ощущения отражают температуру внешней среды по отношению к температуре самого тела, а не температуру тела как таковую. В температурных ощущениях отражаются отношения между процессами теплообмена и терморегулирования в целом.

ТА делится на два класса:

- реагирует только на тепло;
- реагирует только на холод.

Всего на коже около 30 тысяч тепловых точек и примерно 250 тысяч точек холода. Кожные терморецепторы распределены неравномерно. Больше всего терморецепторов на коже лица и шеи. В среднем на 1 $мм^2$ поверхности кожи приходится один терморецептор.

Все кожные терморецепторы принято подразделять на тепловые и холодовые, а последние, в свою очередь, на собственно холодовые (специфические), реагирующие только на изменение температуры, и тактильно-холодовые, или неспецифические, которые одновременно могут отвечать и на изменение температуры, и на давление. В то же время существует представление о том, что различия температурных ощущений обусловлены различной глубиной залегания в толще кожи единых температурных рецепторов.

Холодовые рецепторы располагаются на глубине 0,2 мм от поверхности кожи, т. е. в базальном слое эпидермиса. Общее число таких рецепторов достигает 250 тысяч. Они реагируют на изменение температуры с коротким латентным периодом. При этом частота импульсов в нейронах линейно зависит от температуры в пределах от 41°С до 10°С: Чем ниже температура, тем выше частота импульсов. Максимальная чувствительность находится в диапазоне от 15° до 30°С, а по некоторым данным — до 34°С. Следует иметь ввиду, что в некоторых условиях холодовые рецепторы могут быть возбуждены и теплом (выше 45°С). Этим объясняется возникновение острого ощущения холода при быстром погружении в горячую ванну.

Тепловые рецепторы реагируют на изменение температуры линейно в диапазоне от 20°С до 50°С: Чем выше температура, тем выше

частота генерации импульсов. Оптимум чувствительности находится в пределах 34°-43 °С. Однако, по данным ряда авторов, у млекопитающих тепловые рецепторы "молчат" примерно до + 37 °С.

Среди холодовых и тепловых рецепторов имеются разные по чувствительности группы рецепторов: одни реагируют на изменение температуры, равное 0,1°С (высокочувствительные рецепторы), другие — на изменение температуры, равное $1^0$ С (рецепторы средней чувствительности), третьи — на изменение в 10°С (высокопороговые, или рецепторы низкой чувствительности).

В узком нейтральном диапазоне, который соответствует нормальной температуре кожи того или иного представителя теплокровных животных в состоянии теплового комфорта (равновесия) тепловые и холодовые рецепторы имеют низкий уровень активности, но даже небольшой сдвиг (на 0,2°С) в ту или другую сторону воспринимается быстро и точно. Это способствует высокой эффективности терморегуляции.

Рецепторы в виде специальных нервных окончаний размещены в кожном покрове. Эксперименты показывают, что дифференциальный порог чувствительности в среднем около $1^0$. Температурная чувствительность свойственна организмам, обладающим постоянной температурой тела, достигаемой терморегуляцией. Температура кожи ниже внутренней температуры тела (примерно 36,6°С) и различна для отдельных участков (на лбу 34-35, на лице 20-25, на животе 34, на стопах ног 25-27°С).

Порог восприятия тепла и холода различен, например, тепловые точки различают разницу температуры в $0{,}2^0$, а точки холода в 0,4°С. Время, необходимое для ощущения температуры, примерно равно 1 секунде. Температурные анализаторы, защищая организм от перегрева и переохлаждения, помогают сохранять постоянную температуру тела.

### 4.9. Анализатор обоняния

*Анализатор обоняния* (АО) способен воспринимать и различать определенные классы химических соединений, находящихся во внешней среде при помощи хеморецепторов, расположенных в органах обоняния. Обоняние осуществляется через нос (обычно) и через рот при принятии пищи, когда запахи проникают в носовую полость изнутри.

*Запах* - специфическое ощущение присутствия в воздухе летучих веществ (ЛВ), обнаруживаемых химическими рецепторами обоняния, расположенными в носовой полости человека и животных. Запах для большинства людей относительно слабо дифференцированное, интегральное ощущение, т. к. он определяется суммарным эффектом от

раздражения обонятельных рецепторов, рецепторов тройничного нерва и рецепторов вомероназального органа; кроме того, возможно, что в ощущение запаха вовлечено восприятие аэрозольной компоненты атмосферы. Для животных обоняние играет большую роль, чем для человека.

*Цепочка передачи запаховой информации*: хеморецептор → обонятельный нерв → центральные отделы головного мозга. В зависимости от концентрации одно и то же вещество, может эмоционально восприниматься как приятное, нейтральное или неприятное. Сильно различающееся по химическому составу ЛВ могут пахнуть почти одинаково и наоборот, близкие по химическому составу пахнуть совершенно по-разному. Как правило, у женщин обоняние тоньше, чем у мужчин, и позже, чем у них, начинает снижаться его острота. Запаховое действие некоторых веществ быстро вызывают адаптацию - полную потерю ощущения запаха этого вещества. При одновременном действии нескольких запахов, общая оценка аромата может существенно измениться.

Хеморецепторы расположены внутри носовых пазух в виде клеток (реснички, ворсинки) эпителия (их более 10 млн). Для обоняния свойственно привыкание, т.е. притупление обоняния.

*Феромоны* - биологически активные ЛВ, выделяемые животными в окружающую среду и специфически влияющие на поведение, физиологического и эмоциональное состояние или метаболизм других особей того же вида. Как правило, феромоны продуцируются специализированными железами. Биологическое действие феромонов осуществляется обычно через хеморецепторы, в частности у многих животных – с помощью органов обоняния.

Получила распространение гипотеза семи основных запахов: (всего 10 тыс. градаций запахов):

- камфарный (гексахлорэтана);
- мускусный (мускуса, ксилола);
- цветочный (альфа-амилпиридина);
- мятный (ментола);
- эфирный (этилового эфира);
- острый (муравьиной кислоты);
- гнилостный (сероводорода).

Лучше всего воспринимается запах вещества, растворимого в воде или жирах.

Для трудовой деятельности обоняние служит в основном для предупреждения об опасности. Профессионально обоняние используют дегустаторы-парфюмеры.

*Ольфактометр* - прибор для измерение остроты обоняния. Существуют разные конструкции ольфактометров. Ольфактометр Цваардемакерта представляет из себя полый цилиндр с порами, содер-

жащий пахучее ЛВ, в который вставлена стеклянная трубка с делениями: по мере погружения в цилиндр она уменьшает распространение вещества через открытое отверстие трубки к носу испытуемого. Единица измерения остроты обоняния (ольфактия) выражается в сантиметрах погружения трубки в цилиндр. Иную конструкцию имеет ольфактометр Эльсберга и Леви, в котором подача воздуха в носовую полость ведется импульсно. С помощью шприца в герметический сосуд с пахучим веществом нагнетается некое количество воздуха, который вытесняет пары пахучего ЛВ через трубку, вставляемую в нос испытуемого. В этом случае единицей остроты обоняния служит количество поданного в нос воздуха в кубических сантиметрах. Ольфактометрия используется для оценки индивидуальных порогов восприятия человека различных одорантов.

### 4.10. Болевой анализатор

За верхним порогом чувствительности любого анализатора наступают болевые ощущения. Поэтому были споры о существовании *болевых анализаторов* (БА) вообще. В конце 70-х годов выявлены специальные болевые анализаторы в кожном покрове человека, в котором они располагаются крайне неравномерно. Имеются точки с пониженной болевой чувствительностью (применяется для иглоукалывания – акупунктура). Применительно к БА основной психофизиологический закон не действует.

Практически наблюдается прямая зависимость между ощущениями и воздействием вплоть до порога выносливости. После чего организм переходит в новое качественное состояние – происходит потеря сознания. Порог выносливости зависит от индивидуума. Наибольшей болевой чувствительностью обладают роговица глаза.

Отличительная особенность БА – все параметры эффекторной сферы (вся совокупность реакций человека на внешние раздражители) отличаются существенно лучшими показателями (время реакции, точность и т.д.). Абсолютные и дифференциальные пороги практически не изучены и диапазон чувствительности не установлен.

## 5. АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ЧЕЛОВЕКА И ИХ УЧЕТ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МАШИН И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В процессе проектирования системы человек-машина структура человеческого тела, его геометрические размеры и механические характеристики являются необходимым материалом, сравнимым по значимости с механическими характеристиками конструкционных материалов, без учета которых нельзя говорить всерьез о повышении эф-

фективности человеческого труда. Во многих сферах производства имеется немало примеров, когда пренебрежение антропометрическими характеристиками человека приводит к весьма печальным последствиям: гибели людей, поломке дорогостоящего оборудования. При этом часто речь идет о нехватке нескольких секунд при работе оператора, удаленности рабочих органов управления. Антропометрические требования при проектировании рабочих мест машин даны в ГОСТ Р ИСО 14738-2007.

*Антропометрия* (от греческого anthropos – человек) – один из научных методов изучения морфологических особенностей (индивидуальных и групповых) человека. Она делится на собственно антропометрию, изучающую *измерительные признаки*, и *антропоскопию*, связанную с *описательными признаками*. Следует заметить, что антропометрия вначале была составляющей частью *антропологии* – науки о происхождении и эволюции человека, образовании человеческих рас и о нормальных вариациях физического строения человека. В 20 веке антропология используется в эргономике, а также в медицине в связи с вопросами экологии, нормального и патологического физического развития ребенка и взрослого, а также в судебно-медицинской практике.

К описательным признакам относятся те признаки, которые измерению не поддаются: форма и цвет волос, глаз, форма грудной клетки, носа, живота, лица и т.д. Созданные специалистами модели отдельных элементов лица, например, глаза, века, носа, губ широко используются в судебной медицине для идентификации личности. Сюда же можно отнести дактилоскопию – науку об отпечатках пальцев.

Необходимо ответить на вопрос «В чем сложность учета параметров человеческого тела при проектировании машин и оборудования и, какие основные цели должен преследовать конструктор?»

Одним из основных факторов, определяющих сложность учета антропометрических данных, является вариативность геометрических размеров тела в зависимости от пола, возраста, национальности и т.д. По последнему фактору различают три основные группы (расы):

- европеоиды;
- негроиды;
- монголоиды.

Табл. 5.1. Характеристики представителей рас

| | европеоид | негроид | монголоид |
|---|---|---|---|
| Рост, см | 174 | 172 | 160 |
| Вес, кг | 70 | 68 | 55 |

Учитывая многообразие внешних связей в мире и тенденции их расширения, приходится считаться с этим фактором еще более серьезно. Общеизвестны различия размеров в зависимости от пола.

## 5.1. Конституция человека

*Конституция человека* (КЧ) – совокупность функциональных и морфологических особенностей человека, определяющих его реактивность, сложившуюся на основе наследственных и приобретенных свойств. Известно более пятидесяти классификаций КЧ. В России наиболее распространена классификация М.В. Черноруцкого (рис. 5.1). По этой классификации существуют три основных типа:

- астенический;
- нормостенический;
- гиперстенический.

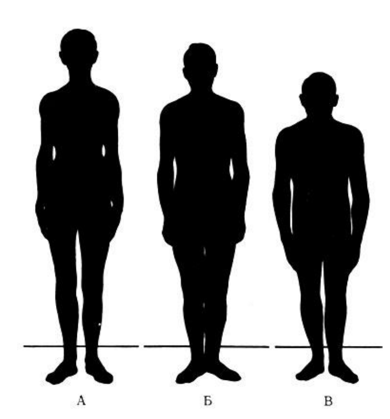



Рис. 5.1. Классификация М.В. Черноруцкого

Для астеников по отношению к гиперстеникам характерно преобладание продольных размеров над поперечными, размеров конечностей – над туловищем, грудной клетки – над животом. Физиологически они имеют пониженное артериальное давление, увеличенную емкость легких, низкий гемоглобин, ускоренный обмен веществ, низкий холестерин.

У большинства людей телосложение смешанное, указанная классификация более подходит к мужчинам, оно меняется с возрастом и условиями жизни.

Классификация Д. Сиго (рис. 5.2) предлагает следующие типы КЧ:

- а) дыхательный (сильно развитая грудная клетка);
- б) пищеварительный (объемный живот, массивная нижняя часть лица, короткая шея);
- в) мышечный (хорошо развитая мускулатура, широкая грудь, квадратное лицо);
- г) церебральный или мозговой (большой череп, широкий лоб, тонкая фигура, слабая мускулатура).

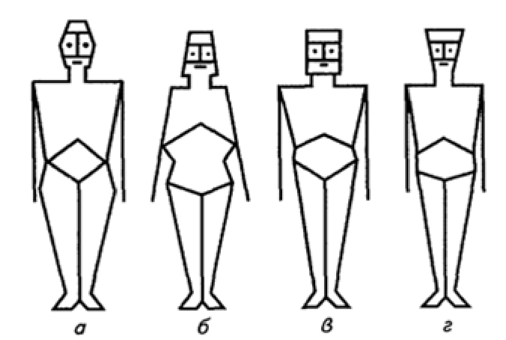



Рис. 5.2. Классификация по Сиго

В задачу антропометрии входят также исследования некоторых физиометрических признаков – жизненной емкости легких (при помощи спирометра), экскурсии грудной клетки (при помощи ленты), силы отдельных мышечных групп (при помощи динамометров). Эти параметры широко используют в спортивной медицине и эргономике.

Все эти особенности необходимо иметь в виду при проектировании техники. Таким образом, при проектировании машин нужно учитывать группу, пол и возраст людей. Кроме того, проектные (закладываемые в расчеты) размеры человеческого тела существенно зависят от одежды и специального снаряжения.

В справочных руководствах по эргономике для основных типовых видов спец. одежды приводятся таблицы поправок к абсолютным размерам человеческого тела. При использовании нестандартной одежды конструктор должен располагать характеристиками этого снаряжения, выявить особенности до постановки специальных эргономических экспериментов.

Антропометрические характеристики нужны не только с точки зрения эргономики при проектировании машин, но и для производства одежды и обуви. Например, для удобства обуви нужно знать не только размеры, но и форму стопы человека. Известны три типа формы стопы (рис. 5.3). Очевидно, что обувная колодка «Egiptian» не подходит для ноги «Greek».

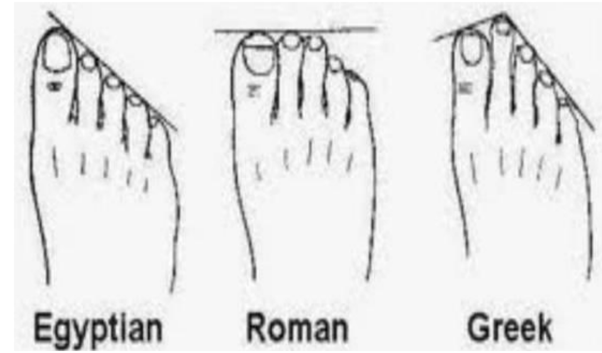



Рис. 5.3. Классификация формы стопы

Антропометрические характеристики человека в отличие от ряда других характеристик не поддаются направленному изменению за

счет тренировки. Поэтому, приступая к разработке эргатической системы, необходимо изучить особенности персонала. Если данных нет, то нужны обследования, при проведении которых необходимо выполнить три условия:

- обследованию должны подвергаться люди, которым предстоит работать на проектируемом оборудовании;
- должно быть обследовано не менее 100 человек;
- методика и оборудование для обследования должна соответствовать определенным стандартам по методике и точности.

## 5.2. Основные эргономические цели разработчика оборудования

Главная и основная цель – в идеальном случае спроектировать машину, обеспечивающую работу 100% предполагаемого обслуживающего контингента. По существующим стандартам в инженерной практике считается, что уровень эргономической проработки новой техники достигается для 98, 95 и, в крайнем случае, 90% планируемого контингента. В этом случае машина считается доработанной.

Эргономическая проработка проекта нужна по следующим причинам.

Во-первых, в условиях полиэргатических систем, при бригадном, сменном обслуживании техники необходимо стремиться к полной взаимозаменяемости людей.

Во-вторых, для сложных систем и машин необходим подбор эффективно работающих операторов. Часто возникает множество затруднений по целому ряду технических параметров, не связанных с антропометрическими характеристиками. Часто оказывается, что преодоление ограничений на проектируемую технику методами и средствами конструирования оказывается более сложным, чем просто учет антропометрических данных.

В-третьих, несоответствие машины антропометрическим данным человека может существенно усложнить все проблемы, связанные с профессиональным отбором и обучением.

Накопленный в настоящее время опыт проектирования позволяет утверждать, что задача грамотного сочетания антропометрических характеристик человека и технико-конструкторских характеристик машины чаще всего находит удовлетворительное решение по следующим причинам.

– Обычно общие габаритные размеры машин накладывают несущественные ограничения на антропометрические характеристики человека. Чаще серьезные ограничения накладывают отдельные агрегаты и узлы, изменение которых не вызывает существенных затруднений с точки зрения эргономики.

– Разброс размеров человека относительно мало сказывается в тесных помещениях (танк, самолет, подводная лодка), поэтому удается найти приемлемый компромисс.

– В подавляющем большинстве случаев вариации размеров тела удается скомпенсировать за счет включения в конструкцию машины специальных регулировочных устройств (высота и наклон сиденья, вылет рулевого колеса и т.д.).

### 5.3. Законы распределения антропометрических параметров человеческого тела

Первые попытки изучения антропометрических параметров были еще в Древней Греции, но к эргономике они отношения не имели. В настоящее время различают и рассматривают более 50 параметров человеческого тела. Наиболее употребимы 46 параметров (стоя и сидя), шесть специфических параметров относятся к положению стоя на коленях и лежа на животе (для стрельбы). Гарантией оптимального взаимодействия между человеком и окружающей средой являются установленные необходимые размеры тела человека, используемые для оптимизации рабочего места и рабочей среды в про-цессе технологического проектирования. Методика измерений этих размеров дана в ГОСТ Р ИСО 7250-2008.

Измерительные признаки в большинстве случаев привязаны к размерам, границами которых служат так называемые *антропометрические точки*, находящиеся преимущественно на костных образованиях – отростках, выступах и т.д., прощупываемых через мягкие ткани (рис. 5.4). К этим точкам, в частности, относятся: верхушечная (наиболее выступающий кверху участок темени при положении головы в глазнично-ушной горизонтали), надгрудная, подвздошно-остистая передняя, пупковая, лучевая, вертельная, пяточная.

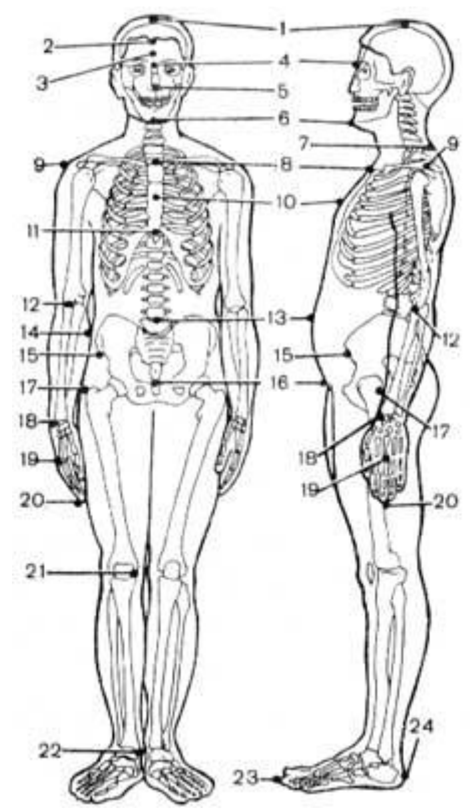



Рис. 5.4. Антропометрические точки

Размеры человека подразделяют на:

- линейные;
- дуговые;
- угловые.

Двухсторонние размеры определяют по правой стороне обнаженного тела. Размеры вертикального простирания называются *высотами*, поперечного – *ширинами*, переднезадние размеры часто называют *диаметрами*.

Длину тела и туловища измеряют на ростомере с откидным сидением. Поперечные и переднезадние размеры измеряют малым и большим толстотным циркулями, а также скользящим циркулем (в технике – штангенциркуль). Дуговые размеры включают окружности или обхваты и их части – дуги (обхват груди, головы, плеча) и измеряют металлическими или тканевыми лентами (портновский сантиметр). Угловые размеры, определяющие подвижность в суставах, измеряют гониометрами.

Для операторов и рабочих-станочников практический интерес представляют следующие параметры (всего 13):

- рост, зона вертикальной досягаемости руки, зона боковой досягаемости, угол отведения руки назад в горизонтальной плоскости, расстояние от плеча до локтя, расстояние от локтя до оси схвата кистью, расстояние предплечье-кисть, длина кисти, толщина кисти и ее ширина, высота глаз над уровнем пола.

Для проектирования важен закон, по которому эти данные варьируются для различных людей. На основании многочисленных статистических исследований принято считать, что антропометрические характеристики – это непрерывные случайные величины, распределенные по *нормальному закону*.

К числу прочих параметров относятся масса и плотность тела, площадь поверхности тела. Масса определяется на обычных медицинских весах, плотность – по объему вытесненной воды или гидростатическим методом, когда определяется вес тела в воде. Площадь поверхности тела определяют по приближенной формуле Дюбуа:

$$S=71{,}8\ P^{0{,}425}\ L^{0{,}725},$$

где S – площадь поверхности тела (см$^2$), P – вес тела (кг), L – длина тела (см). Например, при P=60 кг и L=170 см получаем S=1,7 м$^2$. Площадь поверхности человеческого тела нужно знать для оценки теплового баланса человека и окружающей среды.

## 5.4. Элементы теории вероятностей и статистики

Случайная величина X считается распределенной *по нормальному закону*, если *функция плотности распределения вероятности* этой величины имеет вид

$$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma^2}},$$

где $m_x$ – математическое ожидание или среднее значение величины $x$, $\sigma$ – среднеквадратичное отклонение (рис. 5.5). Среднее значение величины $x$ при $n$ измерениях определяется

$$x_{cp}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i,$$

при $n\to\infty$ среднее значение $x_{cp}\to m_x$ .Вводится понятие дисперсии (разброса) случайной величины для больших $n$

$$D_x=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-m_x)^2,$$

из которой определяют среднеквадратичное отклонение

$$\sigma\cong\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-m_x)^2}.$$

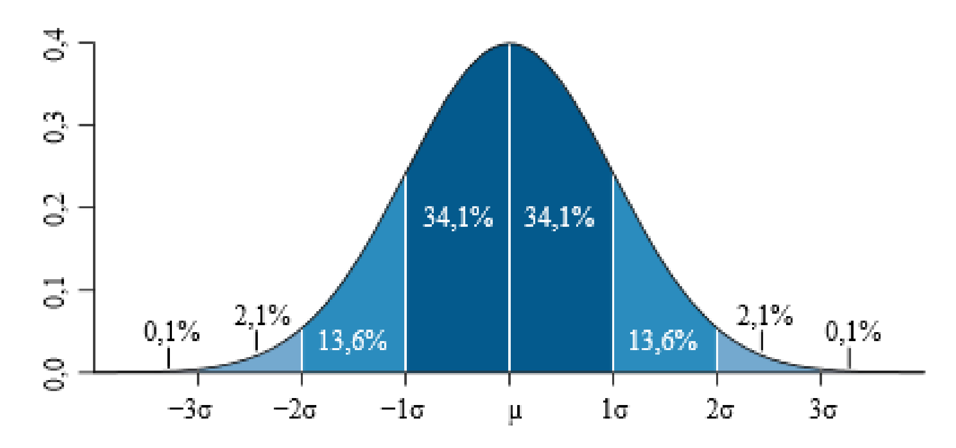



Рис. 5.5. График плотности вероятности нормального распределения $f(x)$ (кривая Гаусса) и процент попадания случайной величины на отрезки, равные среднеквадратическому отклонению.

Правило трёх сигм:

с 99,73 % вероятностью значение нормально распределённой случайной величины $f(x)$ лежит в интервале $[m_x \pm 3\sigma]$.

Величина $m_x$ определяет положение графика функции $f(x)$ на оси $x$, $\sigma$ определяет характерную степень рассеивания случайной величины относительно центра распределения, определяемого математическим ожиданием. $\sigma$ характеризует форму кривой распределения. Чем больше $\sigma$, тем более пологим будет график (рис. 5.6) распределения ($\sigma_2 > \sigma_1$).

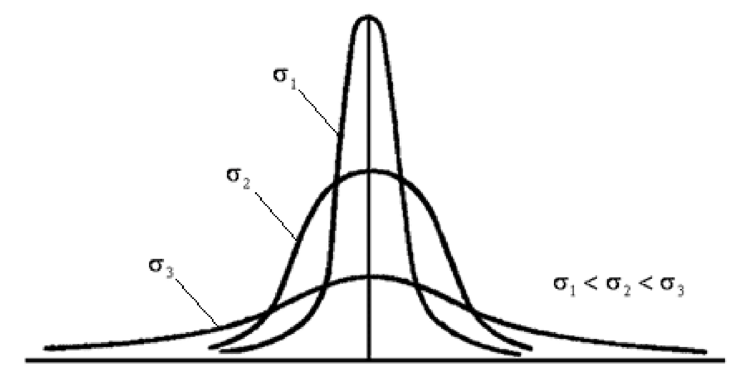



Рис. 5.6. Формы кривой Гаусса при разных значениях $\sigma$

При всех трансформациях кривой распределения $f(x)$ сохраняется неизменной площадь под кривой, она равна единице. График плотности распределения имеет один максимум (унимодальное распределение) и симметричным относительно прямой, проходящей через центр распределения. Мода – это значение непрерывной случайной величины, при котором $f(x)$ имеет максимум. Медиана – значение случайной величины, для которой вероятность $P(x < m_x) = P(x > m_x) = 0{,}5$. Если через значение случайной величины,

равной ее медиане, провести параллельную оси ординат, то мы разделим площадь под кривой на равновеликие части.

Наряду с функцией плотности распределения вероятности в теории и приложениях используется интегральный закон, связанный с плотностью распределения (рис. 5.7)

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma^2}} dx,$$

так что $F'(x) = f(x)$.

По физическому смыслу функция $F(x)$ характеризует зависимость вероятности события $P(x < x_{текущ})$.

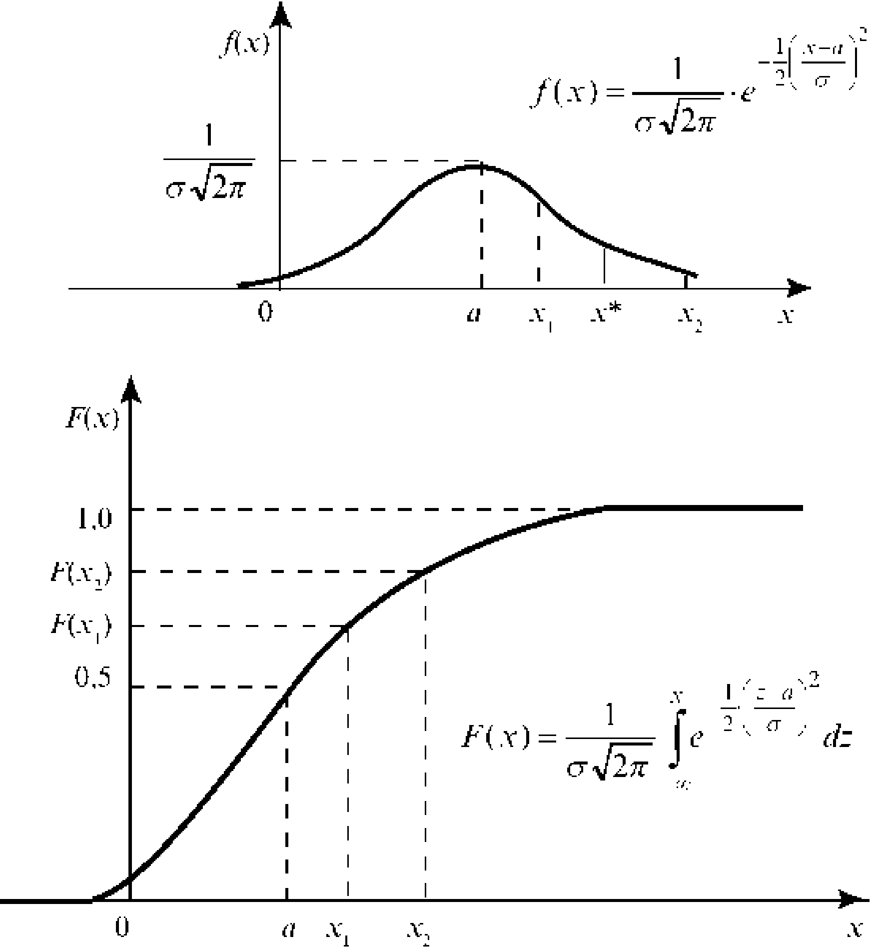



Рис. 5.7. График плотности (кривая Гаусса) и интегральная функция нормального закона распределения непрерывной случайной величины (здесь $a=m_x$)

Поскольку для непрерывной случайной величины вероятность того, что случайная величина примет какое-либо конкретное значение равно нулю, то применительно к непрерывным величинам следует говорить о вероятности попадания ее в некоторый интервал на оси $x$. Если его обозначить $\Delta x$, то вероятность попадания случайной величины в него будет равна заштрихованной площади на графике $f(x)$.

При статистических исследованиях часто пользуются гистограммой. Гистограмма это график зависимости частот попадания величины в какой-либо диапазон этой величины. На рис. 5.8 показана гистограмма распределения роста женщин, эта гистограмма подтверждает непрерывную функцию плотности распределения вероятности роста женщин $f(x)$.

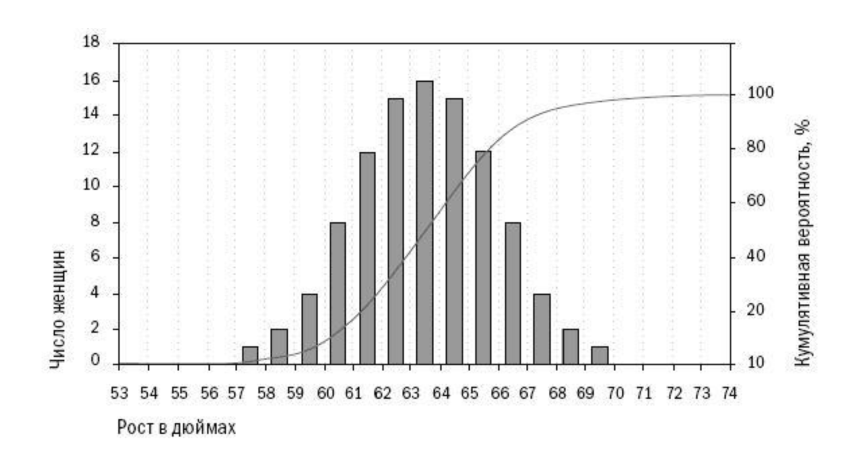



Рис. 5.8. Гистограмма распределения роста женщин

Построим интервальный статистический ряд и гистограмму случайной величины *X* продольных ошибок попадания снарядов в цель. В данном случае наименьшая ошибка равна (–38,5 м), наибольшая – (59,5 м). Диапазон изменения ошибок разобьем на 10 равных интервалов. Для простоты расчета возьмем диапазон изменения ошибок от –40 м до 60 м. Объем выборки *n* = 160. Интервальная таблица частот формируется следующим образом (табл. 5.2). График гистограммы показан на рис. 5.9.

Табл.5.2. Интервальная таблица частот

| $l_i$ | (–40;–30) | (–30;–20) | (–20;–10) | (–10;0) | (0;10) | (10;20) | (20;30) | (30;40) | (40;50) | (50; 60) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $n_i$ | 4 | 5 | 11 | 24 | 39 | 31 | 28 | 9 | 5 | 4 |
| $p_i$* | 0,025 | 0,031 | 0,069 | 0,15 | 0,24 | 0,19 | 0,175 | 0,056 | 0,031 | 0,025 |

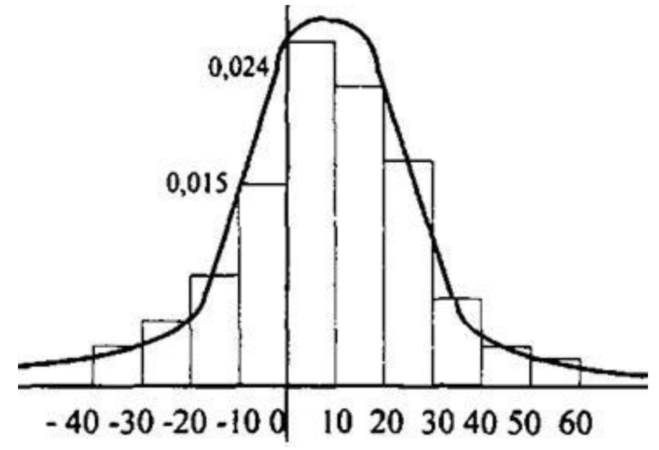



Рис. 5.9. Гистограмма распределения случайной величины

Обычно берут общее количество объектов, кратное 100. При составлении гистограммы наибольшую трудность представляет разбивка непрерывной величины на диапазоны.

*Ограниченность применения концепции «среднего человека»*

В практике проектирования широко распространена концепция среднего человека. Ее суть в том, что в симметричном распределении непрерывных случайных величин математическое ожидание совпадает с максимумом функции $f(x)$, то существует точка зрения, что именно эта наибольшее вероятностное значение параметров тела и нужно закладывать в проект. Это ошибочно, т.к. для нормального распределения имеет место соотношение $P(x < m_x) = P(x > m_x) = 0{,}5$. Поэтому понятно, что если, например, $x_1$ – размер тела человека, определяющий его возможность проникновения в люк-лаз, и, если размеры люка выбраны равными наиболее вероятному значению математического ожидания, то половина людей этим люком воспользоваться не сможет (рис. 5.10). Если $x_2$ – размер, определяющий зону вертикальной досягаемости руки человека, а проектировщик при размещении органов управления размещает их на высоте $h = m_{x_2}$, то опять вывод – 50% людей не смогут достать до этих органов управления.

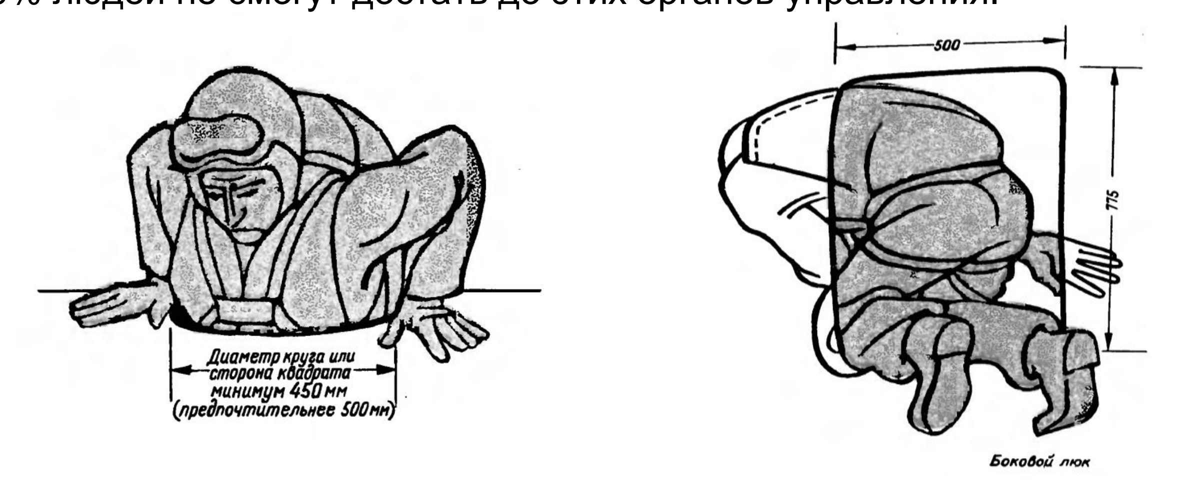



Рис. 5.10. Учет размеров человека при определении размеров люка

Среднестатистические данные не всегда следует принимать за идеальные. Например, если высоту умывальника установить исходя из среднестатистического роста человека, то он окажется неудобным и высоким для людей небольшого роста. Выбор в таком случае делается в пользу людей низкого роста, а при выборе высоты дверного проема, наоборот, в пользу людей высокого роста.

Расчет на среднего человека неверен еще и потому, что не учитывает вариативность размеров человеческого тела и, в частности, такой факт, что лишь ничтожное количество людей имеют несколько

геометрических размеров тела, находящихся на уровне средних размеров.

Рассмотрим случай, когда проектировщик согласует размеры всего по трем параметрам $x_1, x_2, x_3$. Пусть оказалось 30% людей, имеющих параметр $x_1$, предположим, что 30% от этих 30% людей имеют параметр $x_2$. Если идти дальше, то параметр $x_3$ будут иметь 3% от всего количества людей. Таким образом, нужны другие методы, позволяющие оценить антропометрические параметры человека.

## 5.5. Процентили (перцентили) и их использование при проектировании технологического оборудования

В основе корректного подхода к учету антропометрических параметров человека лежит уже упоминавшееся выше требование о приемлемом уровне эргономической проработки конструкции, когда ею могут воспользоваться 98, 95 или 90% планируемого контингента. Для применения этого требования в практике проектирования необходимо воспользоваться известным из математической статистики понятием *процентилей (перцентилей)*.

Сущность идеи – разбиение кривой плотности распределения 99 линиями, параллельными оси ординат на равновеликие по площади участки (по оси абсцисс расстояния между соседними линиями не одинаковы!). В результате получаются участки с однопроцентной вероятностью случайной величины. Процентилем случайной величины $x$ называют такое ее значение, которое отсекает в распределении 0,01 объема измерений совокупности. Процентили нумеруют слева направо. Следовательно, мат. ожидание $m_x$ – пятидесятый процентиль. Располагая кривой интегрального закона распределения, легко определить величину любого процентиля.

Процентиль – значение антропометрического признака для сотой доли совокупности измеренных людей. Если кривую распределения всей совокупности измеренных людей разделить на 100 равных по площади частей, то получим 100 площадей, в каждой из которых будет свое значение признака и частота ее встречаемости. Каждый перцентиль имеет свой номер, совпадающий с его порядком. Например, 1-й перцентиль в распределении отсекает наименьшие значения признака, составляющие 1 % от всех его значений; 5-й перцентиль длины тела у мужчин составляет 163,6 см, т.е. это означает, что 5% измеренных людей имеют длину тела 163,6 см и ниже, а 95 % — выше. В антропометрических измерениях особое значение имеют процентили 1, 5, 50, 95, 99. На практике удобнее пользоваться таблицами пересчета случайной величины на процентили (табл. 5.3).

Табл. 5.3. Таблица параметров случайной величины

| Проценты | Коэффициент k | Проценты | Коэффициент k |
|---|---|---|---|
| 0,5; 99,5 | 2,576 | 15: 85 | 1,036 |
| 1; 99 | 2,326 | 20; 80 | 0,842 |
| 2,5; 97,5 | 1,960 | 25; 75 | 0,674 |
| 5; 95 | 1,645 | 30; 70 | 0,524 |
| 10; 90 | 1,282 | | |

Таблица позволяет для каждого распределения, заданного параметрами $m_x$ и $\sigma_x$, определить значение случайной величины, соответствующей заданному процентилю или установить какому процентилю соответствует реализация случайной величины.

Расчетная случайная величина

$X_{\Pi} = m_x \pm k\sigma_x$, здесь $\Pi$ – номер процентиля (0,5, 99…).

Здесь + при $\Pi$>50, -при $\Pi$<50.

Пример. Задано распределение случайной величины $x$ с параметрами $m_x = 89{,}1$ см, $\sigma_x = 3{,}8$ см. Тогда, например, $x_{95} = 89{,}1 + 3{,}8 \cdot 1{,}65 = 95{,}35$ см, $x_5 = 89{,}1 - 3{,}8 \cdot 1{,}65 = 82{,}85$ см.

При практическом использовании изложенной методики в практике проектирования можно представить следующую задачу.

Дано: (проверочный расчет) пусть $h$ – высота размещения органов управления, $h = 160$ см. Ориентируясь на группу людей с параметрами $m_x = 150$ см, $\sigma_x = 5$ см, найдем, какой % людей может эффективно работать на такой установке:

$x_{\Pi} = 160 = 150 + k \cdot 5 \;\; \Rightarrow \;\; k = 2$, этот коэффициент соответствует примерно уровню 98%, т.е. $\Pi \cong 98\%$. Следовательно, этими органами управления эффективно могут воспользоваться только 2% людей.

Кроме понятия процентиль иногда используют понятия первый квартиль (25% всей выборки) и третий квартиль (75% всей выборки) (рис.5.11).

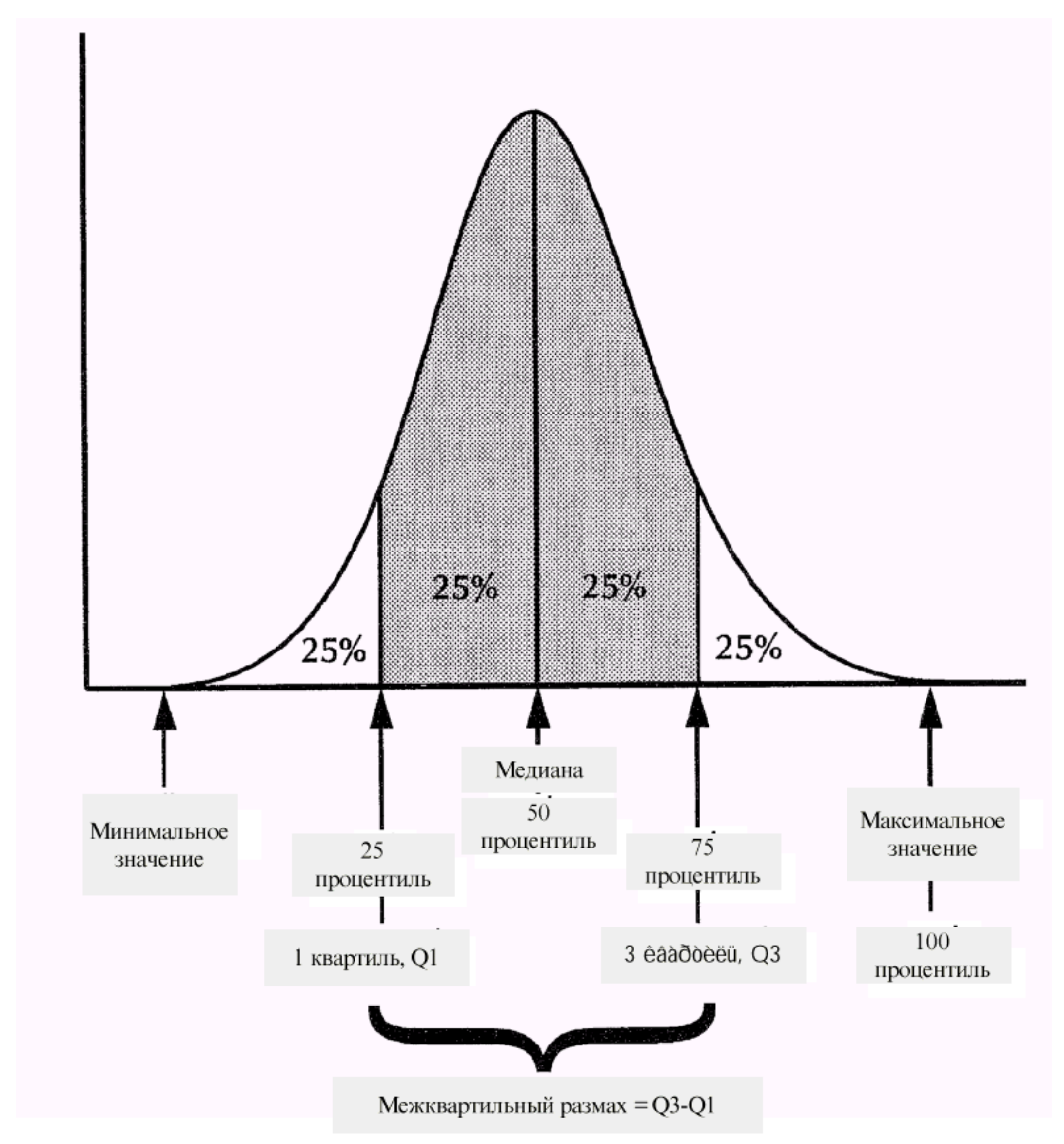



Рис. 5.11. Распределение Гаусса и значения процентилей

Схема распределения людей по характеристикам роста показывает процент не учитываемых при проектировании изделий людей, чей рост меньше 5 и превышает 95 перцентили. Это женщины, рост которых меньше 115 см и больше 175, и мужчины ростом больше 180 см, т.е. если у вас при росте 190 см в легковой машине голова в потолок упирается или ноги не убираются - это работает правило антропометрической схемы для промышленных товаров.

При проектировании изделий, оборудования, организации интерьеров и рабочих мест необходимо предусматривать, чтобы удобство их эксплуатации обеспечивалось не только для людей со средними размерами тела, но, по крайней мере, для 90% людей. Поэтому в практике проектирования чаще используют значения антропометрических признаков, соответствующие 5-му и 95-му перцентилям, а также 50-му. Например, если необходимо определить высоту или ширину прохода, высоту пространства под крышкой стола (для размещения ног сидящего), то надо принимать значения соответствующих призна-

ков, равные 95-му перцентилю, а при определении высоты сиденья - значений, соответствующие 50-му перцентилю. В таком случае, принятые габаритные размеры пространства или изделия будут удовлетворять максимальному числу людей.

### 5.6. Рабочая зона оператора и ее основные характеристики

В реальных системах число органов управления, разнообразие их конструктивных форм велико, а размеры рабочей зоны оператора ограничены. Возникает проблема оптимальной компоновки пульта управления. Возникает проблема оптимальной компоновки оборудования, в частности, вакуумной техники. Например, в установке молекулярно-лучевой эпитаксии верхний уровень рабочей зоны располагается так, что для низких людей, входящих в 95%-процентиль, приходится тянуться вверх (рис. 5.12). Для устранения недостатка проще всего иметь на рабочем месте переносную подставку.

Данные по антропометрическим требованиям к рабочим местам машин приведены в ГОСТ Р ИСО 14738-2007.



Рис. 5.12. Верхний уровень досягаемости рабочей зоны установки

Для определения геометрических параметров рабочего места в положении стоя можно также использовать ГОСТ 12.2.033-78, а в положении сидя ГОСТ 12.2.032-78. Есть еще положение «полусидя», когда оператор стоит и одновременно опирается на сидение.

Исходным материалом является геометрия рабочей зоны оператора, определяемая с учетом вертикальной, боковой и горизонтальной досягаемости руки человека. Если пренебречь некоторой асимметрией рабочей зоны, обусловленной различием зон досягаемости для ведущей и ведомой рук оператора, приблизительно рабочая зона имеет вид (рис. 5.13).

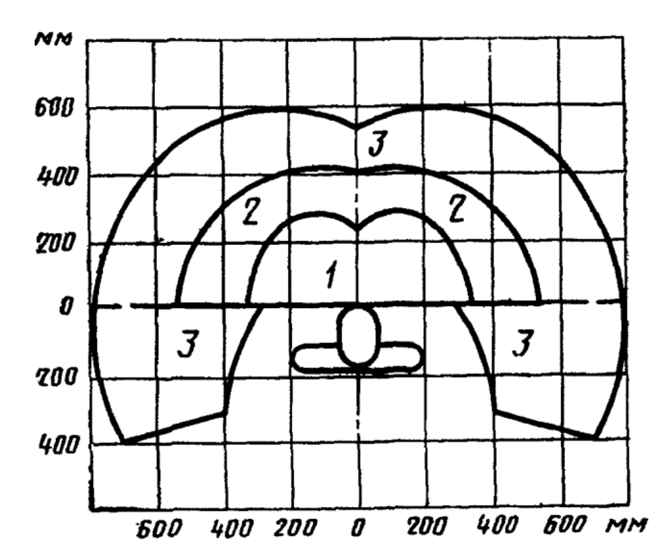



Рис. 5.13. Зоны досягаемости

1 - зона для размещения очень часто используемых и наиболее важных органов управления (оптимальная зона моторного поля); 2 - зона для размещения часто используемых органов управления (зона легкой досягаемости моторного поля); 3 - зона для размещения редко используемых органов управления (зона досягаемости моторного поля); есть еще мертвая зона, которая примыкает к груди 180-200 мм, в которой очень трудно работать (на рис. 5.13 не показана)

Для работ, связанных со сборкой сложных небольших изделий необходимо обеспечить свободный доступ к местам хранения деталей (рис. 5.14).



Рис. 5.14. Эргономичное рабочее место сборщика-электромонтажника

Все работы должны производиться на уровне ниже уровня сердца (рис. 5.15).

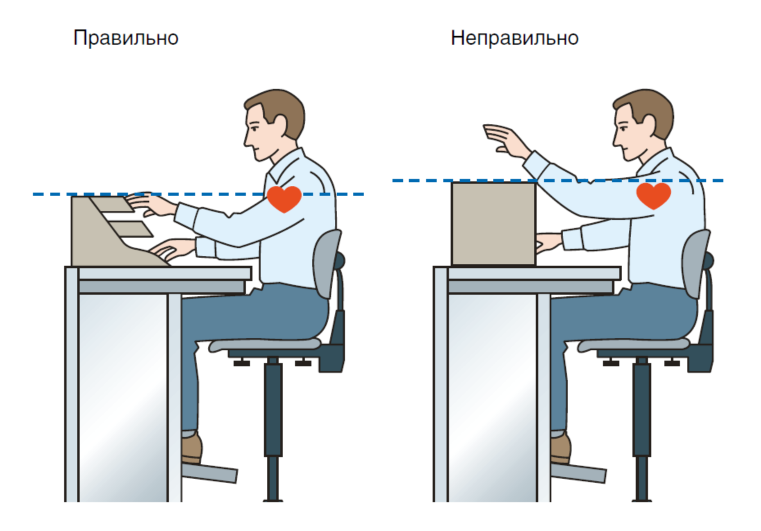



Рис. 5.15. Оценка уровня подъема рук при работе

Для различных видов работ уровни рабочей поверхности стола должны быть разные (рис. 5.16).

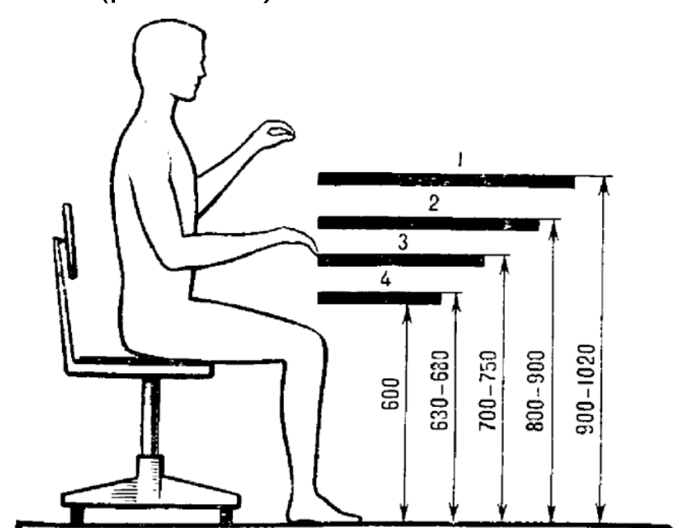
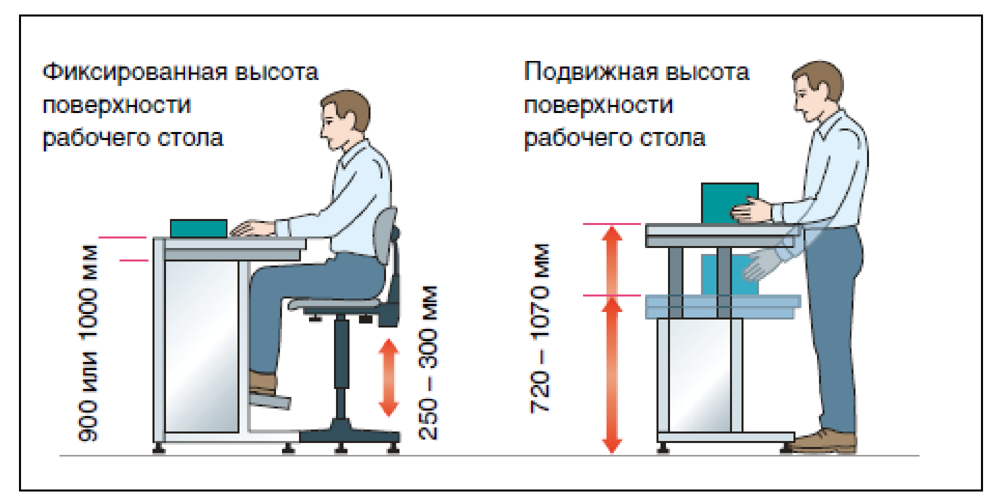



Рис. 5.16. Рекомендуемая высота рабочей поверхности для разных видов и точности работы: 1 — очень точные и тонкие; 2 — точные на пультах; 3 - конторские; 4 - клавиатура компьютера

Желательно иметь регулировку либо уровня сидения при неподвижном столе, либо уровень стола с возможностью работать сидя или стоя (рис. 5.17).




Сидячие и стоячие рабочие места

Рис. 5.17. Диапазоны регулировки рабочих поверхностей и сидений

С учетом принятой конструктивной реализации органов управления и их номинальных размеров параметры рабочей зоны определяют макс. возможное число органов управления, которое может обслужить оператор, не меняя рабочей позы (неизменность рабочей позы на практике часто не соблюдается). Кроме того, при выборе оптимального варианта часто возможны и другие соображения (например, экономические).

Кроме геометрии рабочей зоны важной характеристикой эффективности работы человека в системе является возможность осуществления траектории управляющих движений. Поэтому принципиальное значение имеет информация о кинематическом анализе руки человека и числе ее степеней свободы. С учетом подвижности пальцев общее число степеней свободы руки – более 50. В эргономике принято считать, что рука практически не имеет ограничений на траекторию движения, но не все движения одинаково эффективны.

Наиболее удобны круговые и эллиптические управляющие движения. Модель кинематической цепь руки (рис. 5.18), в нее входят 5 суставов (шарниров):

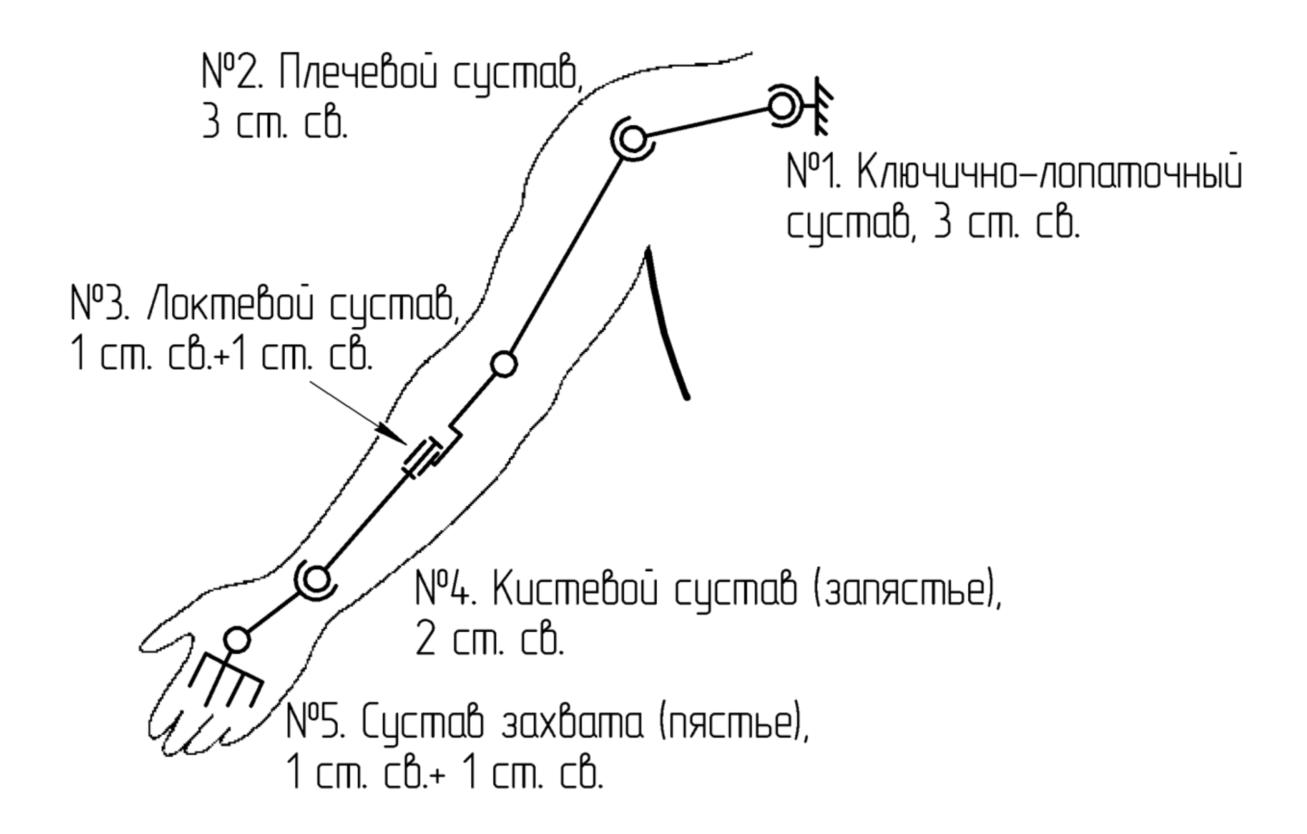



Рис. 5.18. Упрощенная кинематика руки

№1 – ключично-лопаточный сустав, состоит из ключицы и лопатки. Считается, что он достаточно точно может быть смоделирован шаровым шарниром с тремя степенями свободы.

№2 – плечевой сустав, состоит из лопатки и плечевой кости, также моделируется шаровым шарниром с тремя степенями свободы.

№3 – локтевой сустав, состоит из плечевой кости и локтевой и лучевой костей, фактически имеет две степени свободы, хотя часто считают с одной степенью свободы. Вторая степень свободы связана с обеспечением вращательного движения кисти за счет перекрещивания лучевой и локтевой кости.

№4 – кистевой сустав (запястье), состоит из костей лучезапястного соединения, описывается как шарнир с двумя степенями свободы.

№5 – сустав схвата, состоит из костей пястья. Он имеет одну степень свободы. Если необходимо учесть интегральное движение вращательного характера, обеспечиваемого пальцами руки (например, вращение гайки), то этот сустав также считают двухстепенным (наделяют его и ротационным движением).

Общее число степеней свободы такой кинематической цепи – 12. Однако практическая реализация их трудна. Психофизиологический анализ трудовой деятельности человека показывает также, что в наиболее распространенной формах деятельности подавляющее число операций выполняется за счет подвижности в плечевом, локтевом,

запястном и схватывающем суставах, т.е. часто пренебрегают подвижностью в суставе №1.

На практике иногда ограничиваются движениями предплечья и кисти или даже только кисти.

При разработке необходимо стремиться к координированным угловым и линейным движениям, а также к выполнению определенной взаимосвязи между законами и изменениями скоростей и ускорений в соответствующих кинематических парах. Кроме того, необходимо иметь представление о располагаемых мощностях на каждой степени свободы.

Можно выделить *три основные позы: стоя, стоя с упором, сидя, и лежа (эта поза встречается редко: при стрельбе или ремонте)*. Кроме средних размеров важно еще учитывать особенности возможности опираться в каждой позе. Например, при проектировании сиденья важнее выбрать правильную высоту и удобство позы, чем мягкость обивки. Говорят, что чем ниже стул, тем он удобнее, но при этом нельзя забывать о том, что угол между туловищем и бедром не должен быть меньше 90°, а. для полных людей еще больше— 105…125° в позе отдыха. Если туловище человека находится в вертикальном положении, например, когда он сидит на табурете, то для удерживания равновесия требуется постоянная работа мышц. Положение туловища с наклоном вперед вызывает перегрузку поясничных мышц. Для того чтобы избавить мышцы от лишней работы, сиденье должно иметь спинку, при этом спинка не должна создавать упор в области крестца, иначе, наклоняясь назад, сидящий начнет сползать вперед. Поясница не должна иметь опору, а верхний край спинки рабочего стула должен находиться ниже уровня лопаток (рис. 5.19 и 5.20). В первых поездах «Сапсан» кресла пассажиров были неудобными, соответствующие рис. 5.20.

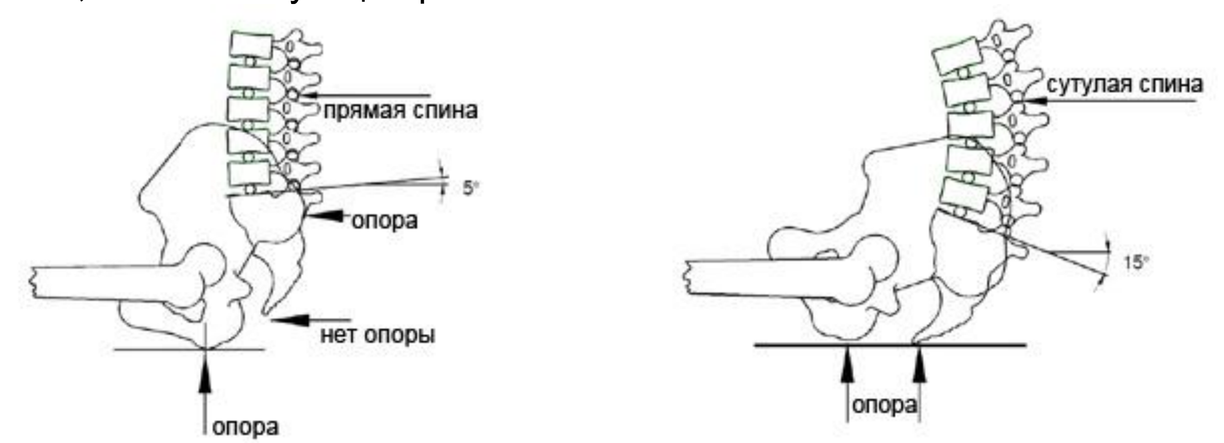



Рис. 5.19. Положение таза человека в эргономическом кресле

Рис. 5.20. Положение таза человека в обычном кресле

Не должно быть давления на нижнюю часть бедер и препятствий кровообращению; в горизонтальной плоскости передняя грань сиде-

нья должна быть закруглена с радиусом ~30см; рекомендуется, чтобы опорная поверхность сиденья была наклонена назад на угол 3—5° в зависимости от характера работы; рекомендуется вогнутая форма опорной поверхности сиденья радиусом — 85 см (рис. 5.21).

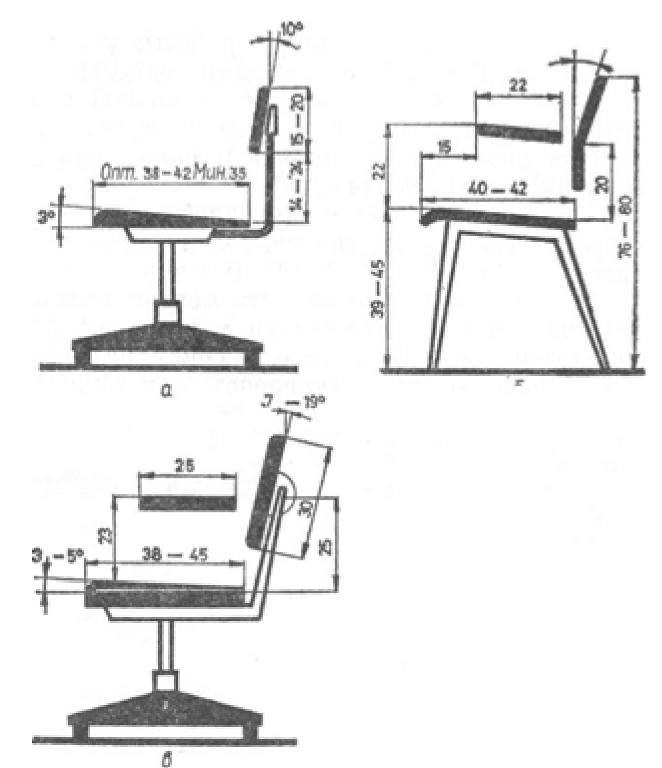



Рис. 5.21. Эргономичные рабочие кресла

По ГОСТ Р ИСО 14738-2007 рекомендуется следующий алгоритм для выбора типа рабочего места (рис. 5.22). При компоновке передних панелей измерительных приборов и пультов управления можно руководствоваться следующими соображениями:

А) Размещение индикаторов должно выполняться в верхней части поля панели.

Б) Предпочтительной зоной для органов управления остается средняя часть прибора. При этом не следует забывать, что рабочие движения руками выполняются неодинаково: для правой руки выделяют органы управления, связанные с наиболее ответственными и точными операциями. Для левой руки оставляют вспомогательные операции. Поэтому большинство органов управления оказывается правее оси симметрии прибора и, как правило, внизу или справа от индикатора.

На рис.5.23 показан оператор, работающий с одной панелью. Руки при своем движении не должны перекрывать индикаторы. Причем для правшей предпочтительней размещение индикаторов левее центра, поскольку правая рука имеет большую вероятность перекрыть индикаторы.

Рабочая станция

Тип работы?

Работа в пределах досягаемости руки

Работа в обширных горизонтальных и/или вертикальных областях или работа с большим количеством деталей[1)]

Требуемые усилия?
Ручная обработка?

Требуются слабые нагрузки, обработка легких деталей

Требуются сильные нагрузки, обработка тяжелых деталей [1)]

Место для ног?

Достаточное пространство для ног

Недостаточное пространство для ног [1)]

Особые рабочие условия?

Специальные требования для рабочей высоты [1)]

Основная рабочая поза

Сидячая (см. раздел 6)

Поднятое сиденье (см. раздел 7)

Стоячее с опорой (см. раздел 8)

Стоячее (см. раздел 9)

[1)] Попробуйте перепроектировать, выберите эти позы, когда перепроектирование невозможно.

Рис. 5.22. Алгоритм для выбора типа рабочего места

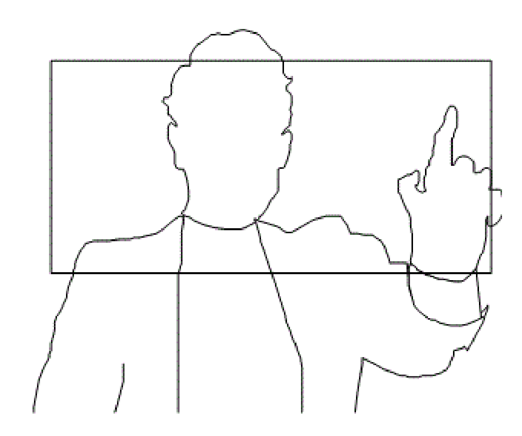


Рис. 5.23. Образование рабочих зон при работе с сенсорной панелью.

На рис. 5.24 представлены предпочтительные варианты размещения индикаторов в зависимости от объема информации.

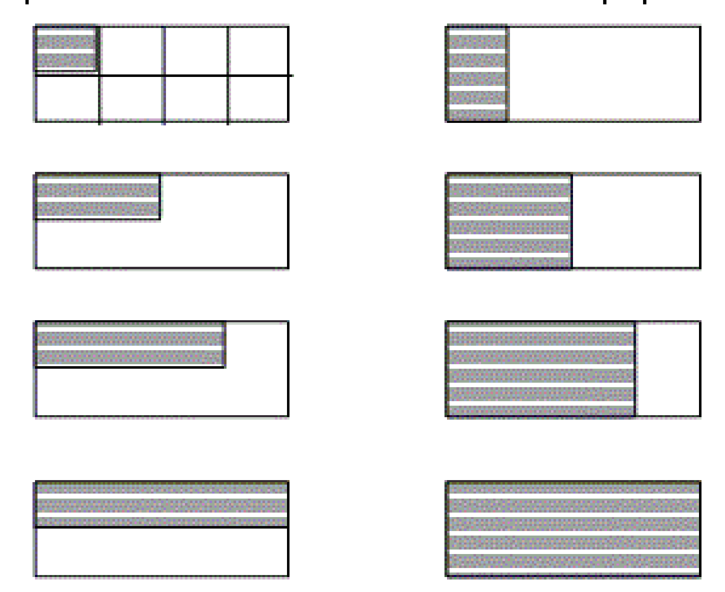


Рис. 5.24. Предпочтительные зоны размещения индикаторов.

Размещение органов управления можно производить по нескольким признакам:
- функциональному;
- последовательности пользования;
- частоте пользования.

По функциональному признаку размещение компонентов на передней панели производят для сложных (многофункциональных, универсальных) устройств. Например, осциллограф имеет функционально выраженные части: органы управления режимами электронно-лучевой трубки; органы управления масштабом (амплитудой) сигнала; органы управления разверткой; органы управления видом синхронизации и т.п. В связи с этим передняя панель осциллографа, несмотря на целостность панели, зрительно разделена на функциональные группы.

По последовательности пользования размещение компонентов на передней панели производят для устройств управления последовательными процессами, в которых выполнение следующей операции возможно только после выполнения предыдущей.

По частоте пользования размещение компонент на передней панели производят для устройств, рассчитанных на широкий круг потребителей, как правило, неквалифицированных. Например, телевизионные приемники, несмотря на техническую сложность, имеют к свободному доступу кнопку включения-выключения, переключатель каналов, громкость и иногда яркость, контрастность. Остальные органы управления (подстройка каналов, регулировка цветности, насыщенности и

др.) или прикрыты крышками (дверцами), или размещены на боковых (задних) панелях.

## 6. МОТОРНАЯ (ДВИГАТЕЛЬНАЯ) СФЕРА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА И ЕЕ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТКИ

*Моторная (двигательная)* сфера сформировалась под влиянием длительного процесса эволюции, процесса приспособления человека к изменению окружающей среды.

Можно, по крайней мере, привести три обстоятельства, в силу которых изучение специфики и возможности двигательной сферы имеет особое значение для проектировщиков техники:

– необходимо проектировать машину так, чтобы управление машиной не нарушало естественную координацию движения человека и не требовало несовместимых движений человека;

– при проектировании пультов управления надо стремиться обеспечить минимум ошибок управления, связанных с путаньем (не ту кнопку нажал) органов управления, недожатием кнопок управления и т.д., что существенно зависит от компоновки пульта, органов управления и их взаимной расстановки;

– необходимо учитывать временные характеристики двигательных реакций человека, играющие важную роль вследствие запаздывания реакции в контуре управления.

Первый вопрос, который в связи с этим необходимо рассмотреть – это разнообразие двигательных задач. Все двигательные задачи можно разделить на четыре класса:

1. Двигательные задачи, связанные с включением/выключением кнопок, и переключением тумблеров (возможны только два положения органа управления).

2. Двигательные задачи, связанные с серией однотипных движений (работа на клавиатуре – ввод данных, кодирование, машинопись).

3. Двигательные задачи, связанные с выводом объекта управления в фиксированное положение (например, переключение рукоятки скоростей в автомобиле).

4. Двигательные задачи, связанные с непрерывным слежением за объектом, закон движения которого не известен (например, вождение автомобиля).

В эргономике применительно к этим простейшим двигательным задачам различают три типа реакций:

– *простая сенсомоторная реакция;*

– *сложная сенсомоторная реакция (реакция выбора);*

– *реакция на движущийся объект* (РДО).

Для изучения *первого класса двигательных задач* (операций включения, отключения, переключения, реализуемые с помощью простейших органов управления: кнопок, рукояток, тумблеров и т.д.) используют так называемую простую сенсомоторную реакцию.

### 6.1. Простая и сложная сенсомоторные реакции

*Простая сенсомоторная реакция* (ПСР) оценивается по времени между появлением стимулирующего сигнала и окончанием движения (перенос указательного пальца с одной кнопки на другую). Время реакции (ВР) складывается из двух компонентов: латентного (сенсорного) периода (ЛП) и моторного периода (времени, движения) (МП). *Латентный период* - время восприятия и идентификации стимулирующего сигнала — имеет несколько составляющих: возбуждение рецептора, переработка сигнала в центральной нервной системе, принятие решения о реагировании, посылка сигнала к исполнительным органам, развитие возбуждения в исполнительном органе. *Моторный период* - собственно время выполнения движения, длительность которого зависит от быстроты возбуждения мышц, преодоления сил инерции покоя тела и конечностей. Время МП отражает скоростные характеристики испытуемого и косвенно свидетельствует о его двигательно-координационном потенциале. В движение переноса входят элементы пространственной регуляции положения конечности человека.

Для экспериментального определения ЛП и МП используют две кнопки: стартовую и финишную, например, на клавиатуре ПК (рис. 6.1). Оператор в исходном положении держит нажатой стартовую кнопку. После возникновения внешнего сигнала – стимула (например, зажигается лампочка или включается зуммер) оператор должен перенести свой палец со стартовой кнопки на финишную, нажав ее. Компьютерная система определяет время ЛП (от возникновения стимула до отпускания стартовой кнопки) и время МП (от отпускания стартовой кнопки до нажатия финишной кнопки). Проводится серия однотипных экспериментов, и вычисляются статистические параметры (среднее значение, СКВО, гистограмма).

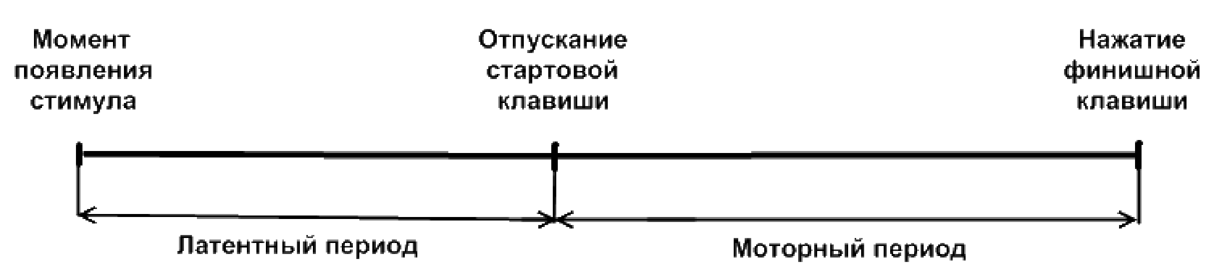



Рис. 6.1. Последовательность действий при определении ЛП и МП

Индивидуальный разброс значений по периодам может составлять 0,03-0,05 с. Это накладывает определенные требования к проведению обследования - испытуемый должен быть мобилизован, то есть его внимание концентрируется на выполнении данного теста. Отметим, что *требование к концентрации внимания* относится ко всем психомоторным методикам.

Время ПСР, усредненное по сериям различной модальности (зрительной и слуховой) и по разной интенсивности сигнала (слабый и сильный), есть основной показатель базовых (природных) скоростных возможностей человека. Скоростные возможности человека (отраженные в этом показателе), особенно в их моторной части, являются в большей степени природными и мало изменяемыми под воздействием тренировки скоростными способностями человека, которые вместе с тем ослабевают с возрастом (начиная со зрелого).

Время ПСР является основным показателем скоростных возможностей (быстроты реакции) человека. Применяется и другой показатель - разброс или вариативность ПСР, отражающий стабильность сенсомоторного реагирования. ПСР в вариантах на свет, на звук позволяет оценить, соответственно, зрительную и слуховую сенсорику. Изменение интенсивности внешнего (стимульного) сигнала дает возможность диагностировать чувствительность рецепторного звена сенсомоторной системы испытуемого (психо- нейро- физиологическую сенситивность индивидуума). По соотношению значений латентного периода времени ПСР на сильный сигнал и слабый (порог абсолютной чувствительности) можно производить оценку силы-слабости процесса возбуждения нервной системы.

*Сложная сенсомоторная реакция* (ССР) представляет собой реакцию выбора из трех световых сигналов. Отличие ССР от ПСР заключается в усложнении процесса переработки информации, процесса идентификации сигнала, а также процесса пространственной координации. В ССР в сравнении с ПСР испытуемый должен не только определить наличие или отсутствие сигнала, но и оценить, какой из трёх возможных сигналов поступил, и выбрать один их вариантов двигательного ответа.

Например, световой стимул (сигнал) может предъявляться в одном из трех положений (слева, справа или в центре) или трех разных цветов. Испытуемый, держащий палец на стартовой кнопке, должен соответственно реагировать на стимул выборочно, нажимая одну их трех «финишных» кнопок (расположенных также слева, справа или в центре). При измерении ССР также регистрируются ВР, ЛП и МП. В данном случае ЛП включает в себя время решения сенсорной проблемы выбора, а МП, как и в ПСР имеет тот же характер.

Низкая быстрота реакции в ССР свидетельствует о противопоказаниях к работам, требующим тонкого и быстрого выбора, например,

диспетчеров, водителей транспорта, бойцов спецназа и т.д. В спорте для коллективно-игровых видов (хоккей, футбол, волейбол, баскетбол и т.д.) также важен этот параметр.

В сравнении с ПСР стабильность ССР падает в основном за счёт увеличения моторной нестабильности. Время нажатия на крайние клавиши, как правило, больше, чем на центральную кнопку. Таким образом, высокая моторная стабильность ССР является косвенным показателем успешности формирования двигательного навыка в условиях расширения сенсомоторного поля реагирования. Низкая моторная стабильность ССР может свидетельствовать о низком координационном потенциале, инертности процесса формирования двигательного навыка.

## 6.2. Реакция на движущийся объект

*Реакция на движущийся объект* (РДО). В показателях РДО проявляется способность испытуемого антиципировать (предвосхищать) время изменения пространственного положения стимула и соотносить с ним сенсорные процессы регуляции своего движения. Вместе с показателями точности используются показатели стабильности и направления ошибки, последний говорит о склонности к запаздыванию или поспешности и характеризует степень сенсорного возбуждения.

Специфика простой сенсомоторной реакции – наличие одного индикатора и одного органа управления (один индикатор и один орган управления – искать нечего).

Специфика сложной сенсомоторной реакции – один индикатор и несколько органов управления. Этот случай существенно отличается от предыдущего по количеству перерабатываемой информации.

Специфика РДО – сигнал реакции оператора возникает при движении объекта наблюдения.

На первый взгляд моторный компонент этих реакций предельно прост и ее моделирование техническими средствами несложно. Однако двигательный акт человека складывается из большого количества микродвижений. Так, при переключении тумблера пальцы совершают более восьмидесяти микродвижений. Значительная часть из них – осязательные микродвижения для определения формы и сопротивления на органе управления. Кроме того, в состав микродвижений входят элементы компенсирующих и уравновешивающих движений возникающих вследствие сил инерции при ускорении (торможении) органа управления и упругих сил реакции при воздействии на орган управления.

*Простая сенсомоторная реакция* определяется выражением

$$\tau_{оп} = \tau_{л} + \tau_{д},$$

где $\tau_{оп}$ – время реакции оператора, $\tau_{л}$ – латентный период реакции, $\tau_{д}$ – время движения. $\tau_{л}$ – характеризует промежуток времени

между моментом появления сигнала индикатора и началом движения руки. Он отражает быстродействие процессов переработки информации в центрах нервной системы человека.

На величину $\tau_л$ влияет

– модальность сигналов – носителей информации;

– интенсивность сигнала;

– контрастность сигнала по отношению к фону;

– пространственные характеристики сигналов (размер и размещение в поле зрения оператора).

В таблице 6.1 приведены данные по латентному периоду реакции в зависимости от типа анализатора.

Табл. 6.1. Латентный период различных анализаторов

| Тип анализатора | $\tau_л$, мс |
|---|---|
| Зрительный | 150 - 220 |
| Слуховой | 120 - 180 |
| Температурный | 280 - 1600 |
| Болевой | 130 - 890 |
| Статико-динамический | более 400 |

С повышением интенсивности сигнала $\tau_л$ уменьшается (рис. 6.2).

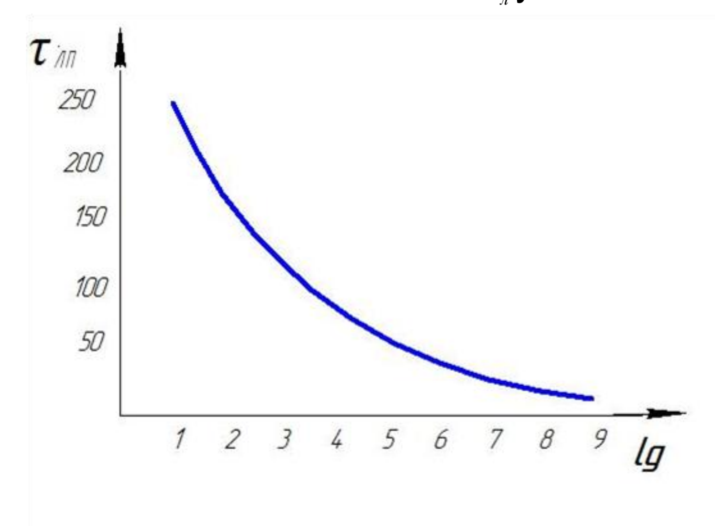



Рис. 6.2. Зависимость ЛП (мс) от интенсивности сигнала (lg)

Что касается латентного периода в РДО, то при прочих равных условиях он короче $\tau_л$ для простой сенсомоторной реакции и его величина лежит в пределах 105–150 мс. Время реакции $\tau_л$ существенно зависит от времени предшествующего периода наблюдений за сигналом. Если оно больше 300 мс, то $\tau_л$ укладывается в указанном диапазоне, а если оно меньше 200 мс, то $\tau_л$ приближается к $\tau_л$ простой сенсомоторной реакции.

Что касается ССР – существует мнение, что $\tau_л$ для ССР превышает $\tau_л$ для ПСР и тем больше, чем больше возможность выбора. В несколько другой терминологии можно считать, что $\tau_л$ в реакции выбора пропорционально количеству информации, которое несет в себе сигнал.

Рассмотрим вторую составляющую $\tau_д$ – собственно времени двигательного акта. Время реакции $\tau_д$ также зависит от большого числа факторов. Основные из них:

– удаление органа управления от оператора и размещение органа в рабочей зоне оператора;
– тип и конструкторское оформление органов управления.

*Качественные скоростные показатели движения руки*

Непосредственные измерения показали, что диапазон скоростей движения руки человека широк – 0,001… 8 м/с. В рабочей зоне оператора как и в поле зрения, существует более или менее оптимальная зона досягаемости для размещения органов управления, которые различают по времени и точности характеристик и параметров движения.

- Движения рук в направлении «к телу» быстрее, чем в направлении «от тела», однако последние более точные.
- Скорость движений в вертикальной плоскости больше, чем в горизонтальной.
- Наибольшей скоростью обладают движения «сверху вниз», в наименьшей – «от тела» и «снизу вверх».
- Скорость движения «слева направо» (для правой руки) несколько больше, чем скорость движения в обратном направлении.

Наличие значительного числа степеней свободы дистальной части руки обеспечивает большую универсальность ее исполнительных функций.

Среди рабочих движений имеются наиболее выгодные. Плавные эллиптические и круговые движения более полно отвечают радиальной форме перемещения звеньев человеческого тела в пространстве. Это нужно учитывать при выборе траекторий движения органов управления. Движения могут быть вращательными, поступательными, ударными. Основным параметром повторяющихся движений является частота их повторения – темп. Вращательные движения совершаются примерно в полтора раза быстрее, чем поступательные. Движения с большей амплитудой обычно совершаются с большей скоростью. По мере тренировки повторяющиеся движения становятся более ритмичными.

Человек способен реагировать на каждый сигнал только в том случае, если интервал между сигналами не менее 0,5 с. Если сле-

дующий сигнал подается через более короткий промежуток времени, то начало ответной реакции на него задерживается до завершения реакции на предшествующий сигнал. Увеличение темпа может быть достигнуто путем тренировок, в процессе которых оператор усваивает временную структуру сигналов и приобретает возможность их предвидения (антиципации).

Тип и конструктивная форма органа управления также существенно сказывается на времени, затраченном оператором на формирование ответной реакции. Поэтому в справочниках по эргономике часто приводят отношение размеров органов управления к времени реакции. Однако там приводятся средние значения (мат. ожидание). Кроме того, для одного и того же типа органов управления $\tau_д$ зависит от его формы, размеров, усилия на органах управления, от направления движения. Например, для одних и тех же размеров кнопок время $\tau_д$ может быть увеличено при большей величине предварительного поджатия пружины. Кроме того, $\tau_{перекл}$ одного и того же тумблера различно в зависимости от направления (вверх-вниз, вправо-влево).

Установлена четкая зависимость между временными затратами оператора и степенью согласованности движений оператора для РДО (табл.6.2).

КК – круговое движение сигнала и круговое движение органа управления.

ЛК – линейное движение сигнала и круговое движение органа управления.

ЛЛ – линейные движения сигнала и органа управления.

КЛ – круговое движение сигнала и линейное движение органа управления.

Приоритеты по точности расположены следующим образом:

КК→ЛЛ→ЛК→КЛ.

Табл.6.2. Время реакции от направления и типа движения

| Сочетание движений | $\tau_л$, мс | $\tau_д$, мс | Направление движения |
|---|---|---|---|
| кк | 200 | 760 | Слева направо |
| лл | 250 | 760 | |
| кл | 250 | 850 | |
| лк | 230 | 1050 | |
| кк | 170 | 770 | Справа налево |
| лл | 240 | 710 | |
| кл | 230 | 810 | |
| лк | 180 | 920 | |

На рабочем месте офицера наведения ПВО используются штурвалы для левой и правой руки (рис. 6.3).



Рис. 6.3. Рабочее место оператора ПВО (слева и справа видны штурвалы для круговых движений органа управления)

В металлорежущих станках и на флоте также преимущественно используются штурвалы (рис. 6.4).



Рис. 6.4. Рабочие места, в которых в качестве органов управления используют преимущественно штурвалы

Звукооператоры обычно используют аппаратуру с поступательно движущимися органами управления – бегунками (рис. 6.5)



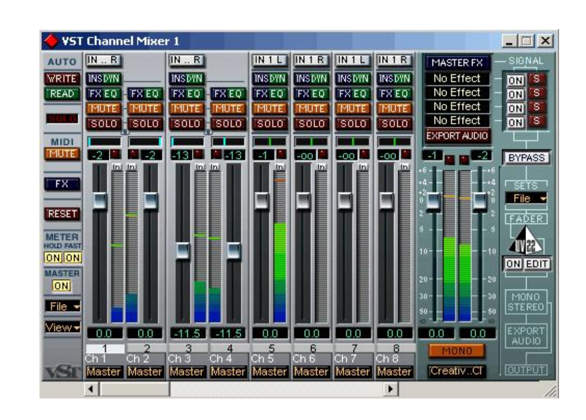




Рис. 6.5. Пульт звукорежиссера с бегунками

*Второй класс двигательных задач*, решаемых человеком в эргатической системе, связан с выполнением человеком последовательно однотипных движений, с помощью которых осуществляется передача большого количества информации, например машинопись, ввод данных в базы данных, кодирование и т.д.

По характеру движений в последовательности различают вращательные, нажимные, ударные. Одной из важнейших характеристик, последовательно выполняемых повторяющихся движений, является темп (скорость повторений).

Для вращательных движений установлено, что максимальный темп вращения ведущей руки (правой) составляет 4,8 об/с, а для неведущей – 4,0 об/с. При этом максимальный темп зависит от радиуса рукоятки и от усилия на ней. При неизменном усилии максимальный темп приходится на рукоятку радиусом 3 см. С увеличением радиуса до 24 см максимальный темп уменьшается в два раза. Если сопротивление на рукоятке возрастает, особенно при малом радиусе) темп сокращается: при F=50 Н максимальный темп при радиусе 4 см.

Для нажимных усилий макс. темп при усилии 25 г, для ведущей руки 6-7 усилий в сек, неведущая 5,5 нажима/сек. Если увеличить F=400 г, то разница между руками уменьшается 6 и 5,5.

Для нажимных – проблема регулировки усилий нажатия. Особенно важно для объектов с кнопочными органами управления. Специальные исследования вопросы влияния темпа нажатия на точность регулирования усилия нажатия. Оказалось, что наиболее точно регулируется усилие нажатия при темпе 5 нажатий в сек.

Макс. темп ударных движений пальцев 5-14 уд/сек. Среднее значение 8,5 уд/сек. При этом наблюдается ощутимая разница при ударе разными пальцами. В таб. 6.3 указано максимальное число ударов за 15 сек.

Табл. 6.3. Частота ударов по клавишам различными пальцами

| Палец | Число ударов пальца левой руки | Число ударов пальца правой руки |
|---|---|---|
| Мизинец | 48 | 56 |
| Безымянный | 57 | 62 |
| Средний | 63 | 69 |
| Указательный | 66 | 70 |

Для большинства людей макс. диапазон 1,5 – 5 уд/с. Если при выполнении ударных движений можно менять пальцы, то темп можно увеличить. Например, интервал между ударами одним пальцем – 0,09 с, разными пальцами одной руки 0,03 с, для разных рук 0,02 с. Макс. амплитуда ударных движений 20 мм.

Для повышения частоты ударов важна планировка расположения клавиш на клавиатуре (для каждого языка повторяемсоть букв в словах разная, поэтому расположение клавиш тоже разное) (рис. 6.6).

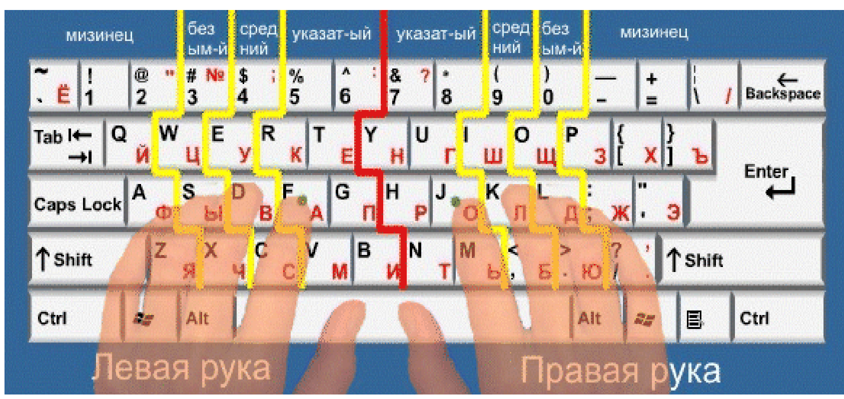


Рис. 6.6. Расположение пальцев на клавиатуре

Если сигналы появляются ритмично, то за счет тренировок человек способен усвоить временную структуру сигнала и получает возможность предвосхитить события. Практически это приводит к перестройке механизма регуляции движений, что позволяет увеличить темп переработки информации человека. Пример – работа радиста с передатчиком азбуки Морзе (рис. 6.7).


Рис. 6.7. Аппарат азбуки Морзе

*Третий класс двигательных задач* – класс задач перемещения до определенного положения. Основными факторами, определяющими динамику движения, является фактор точности. Так, если сравнивать между собой временные характеристики движений с заданной амплитудой с произвольным движением руки, то оказывается, что время движения с заданной амплитудой возрастает.

Средняя величина дифференциального порога регуляции усилий составляет 18-25%. Тренировки могут снизить его до 10-12%. Во всех случаях имеет место закономерность: диф. порог на увеличение усилий на 1,5 -2 % больше порога на уменьшение усилия.

На практике часто применяют вращательные органы управления. Движение вправо правой рукой имеет больший период $\tau_л$, но меньший период $\tau_д$. Специально изучался вопрос о точности поворота рукоятки из одного фиксированного положения в другое без визуального контроля – наиболее точно рукоятка устанавливается в положении, соответствующему 0, 90, 180$^0$. Если ввести оценку $\varepsilon = \varphi_{зад} - \varphi_{факт}$, то в диапазоне 0 – 90$^0$ : $\varepsilon > 0$, а в диапазоне 90 – 180$^0$: $\varepsilon < 0$.

*Четвертый класс задач движения* – класс задач непрерывного слежения за движущимися в пространстве объектами. Например, работа оператора радиолокационной станции, работа с копирующими манипуляторами. Различают два основных варианта задач слежения:

– слежение с преследованием,
– компенсирующее слежение.

В первом случае на экране индикатора при двухкоординатном слежении оператору предъявляется информация в виде светящихся точек цели и метки (управляемая ракета) (рис. 6.8).

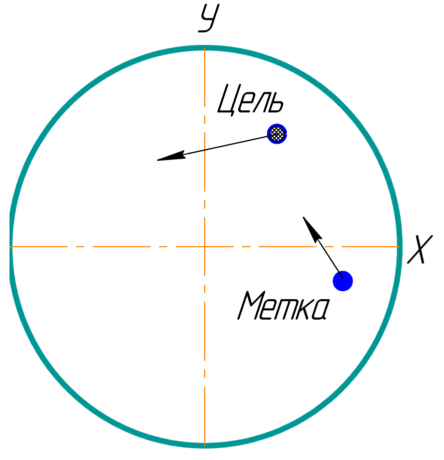



Рис. 6.8. Экран индикатора с функцией слежения с преследованием

Положение цели на плоскости Х-У характеризует желаемое состояние управляемого объекта по координатам Х-У. Положение метки – фактическое состояние объекта управления в пространстве. Задача

оператора совместить метку с целью. Цель движется по неизвестному закону, нужно свести к нулю рассогласование координат метки и цели.

В случае компенсирующего слежения (рис. 6.9) оператору на экране индикатора предъявляется один сигнал – метка, характер рассогласования между заданным и фактическим состоянием объекта. Цель всегда в центре экрана.

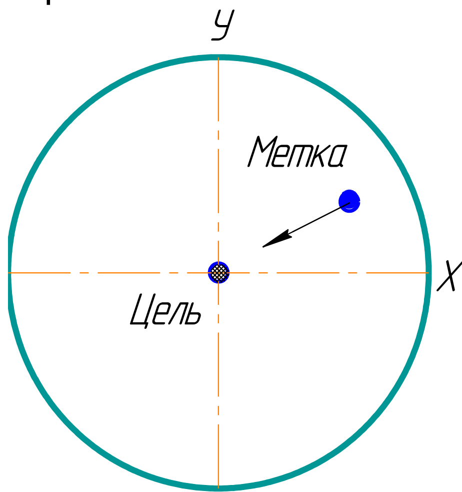



Рис. 6.9. Экран индикатора с функцией компенсирующего слежения

Задача оператора – совмещение метки с центром экрана. Совмещение метки с нулем означает, что рассогласование равно нулю. Если оценивать качество слежения по параметру

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^{k} \Delta t_i}{T},$$

где $T$ – время функционирования системы, $\Delta t_i$ – элементарный отрезок времени, в течение которого расстояние цель-метка меньше заданной величины $\varepsilon$, соответствующей определенному уровню точности контроля, $k$ – число участков на интервале $T$, то оказывается, что этот параметр в 1,5-2 раза больше, чем в компенсаторном режиме.

Это объясняется тем, что в случае преследующего слежения оператор имеет возможность экстраполировать движение цели на экране на основе данных по предыстории контролируемых процессов и оптимизировать в связи с этим свою деятельность путем учета тенденций развития контролируемых процессов во времени. В случае компенсирующего слежения оператор лишен такой возможности, т.к. он видит только разность, т.е. учет последующего развития событий здесь отсутствует.

Таким образом, точность слежения с преследованием в 1,5-2 раза выше, чем компенсирующего, так как во втором варианте оператору сложнее контролировать свои действия и предвидеть ход изменения цели.

В обоих случаях даже при непрерывно контролируемых параметрах объекта слежения двигательные реакции оператора являются

дискретными по характеру и состоят из последовательности парциальных движений, разделенных друг от друга определенными паузами. При этом оказывается, что латентный период задержки реакции, количество парциальных движений и величина пауз между ними существенно зависит от скорости цели. С увеличением цели величина пауз и латентный период сокращается, а время движения увеличивается.

С усложнением динамических задач управления для оператора становится все более сложной, что сказывается на ухудшении точности слежения.

Также отметим, что сфера слежения является основной областью, в которой целесообразно моделировать деятельность человека-оператора в рамках теории автоматического управления.

Характерные изменения двигательной активности, параметров рабочих движений наблюдаются в критических режимах деятельности, в сложных и аварийных ситуациях. Аварийная ситуация вызывает поведение оператора, которое проявляется чаще всего в форме ступора, замедленности движений и принятия решений, либо в форме резкого повышения возбудимости и общей чувствительности, проявляющейся в импульсивных, несвоевременных действиях, в утрате ранее выработанных навыков, в упорном повторении неадекватных двигательных реакций и др.

### 6.3. Сопротивление органов управления

Для многих рабочих органов силы сопротивления имеют большое значение. Например, неопытный водитель иногда недожимает педаль сцепления перед тем, как переключить рычагом коробку передач, в результате этого возникает характерный дребезг в коробке передач, что может привести к ее поломке.

В авиации фактор сопротивления органов управления был актуален при переходе от поршневых самолетов к реактивным в 50-е годы 20 века. Тогда для облегчения управления самолетом поставили гидроусилители на рычаги управления. Но в начале эры реактивных самолетов они разгрузили руки человека почти до нуля, поэтому часто случались катастрофы, так как летчик, не чувствуя сопротивления, резко перемещал рычаги. Тогда разработчики искусственно нагрузили рукоятки пружинами. Однако это не всегда было хорошим решением.

Известны следующие типы законов сопротивления движению органов управления.

1. Упругое (вызванное пружиной) сопротивление.
2. Сопротивление трения покоя и скольжения.
3. Вязкое трение (гидродемпферы).
4. Инерционное сопротивление.

Как показали исследования, тип и характеристики органов управления оказывают существенное влияние на следующие параметры:

- скорость и точность движений оператора;
- ощущение положения органов управления в рабочем диапазоне;
- плавность управления;
- восприимчивость органов управления к случайному изменению положения под действием вибрации, ускорений, ударов.

Поэтому проектировщик должен предусмотреть и специально разработать такие типы законов сопротивления органов управления, которые наиболее полно соответствуют качеству управления оператором возлагаемых на него задач.

*1. Упругое сопротивление.* Изменяется пропорционально смещению органа управления относительно нейтрального положения и не зависит от скорости движения органа управления. При отклонении органа управления о нейтрального положения возникает восстанавливающая сила.

Особенности:

а) нейтральное положение можно легко опознать тактильным или мышечно-суставным (кинестетическим) анализатором по отсутствию сил сопротивления;

б) отпустить орган управления во время управления нельзя. Это обстоятельство необходимо учитывать при разработке алгоритмов работы оператора, чтобы исключить аварийные ситуации при самопроизвольном возврате органа управления в нейтральное положение. При разработке алгоритма работы оператора необходимо учитывать, что у человека только две руки.

Упругое сопротивление дает оператору дополнительную информацию посредством тактильного и кинетостатического анализаторов о фактическом положении органов управления, являющихся каналами обратной связи. Упругое сопротивление позволяет специально организовывать необходимые усилия и градиенты усилий на органы управления с целью более точного опознания различимых состояний и крайних положений органов управления и повышения точности управления. Упругое сопротивление уменьшает вероятность несанкционированных изменений положения органов управления при случайных контактах, под действием вибраций и ускорений. Такой тип сопротивления используется в рулевом колесе автомобиля: повернув руль на требуемый угол, его можно отпустить, тогда руль возвратится в нейтральное положение.

*2. Сопротивление трения скольжения и покоя.* Такая сила сопротивления зависит от направления движения, направление силы сопротивления всегда противоположно движению органа управления. Не зависит от величины смещения органа управления и ускорения при

смещении. Такое сопротивление часто используется в маховиках металлорежущих станков, в рычажках линейных регуляторов эквалайзеров звуковой аппаратуры.

*3. Сопротивление вязкого трения.* Оно зависит от скорости смещения. Для проектировщика имеются широкие возможности организовать движение по требуемому закону. Накладывает меньшие ограничения на характеристики моторной сферы оператора, т.к. позволяет оператору при наличии достаточной величины трения отпускать органы управления. Позволяет уменьшить вероятность несанкционированного включения органов управления. Способствует более плавному манипулированию, снабжает оператора дополнительной информацией по скорости смещения органов управления.

Для широкого класса объектов управления необходимо знать ускорение объекта, поэтому информация, получаемая оператором по каналу обратной связи о скорости перемещения, позволяет судить об ускорении.

Сопротивление вязкого трения позволяет быстро менять направление движения, но быстро увеличивать смещение на большую величину невозможно. Такой тип сопротивления используется в авиации в рулях высоты.

*4. Инерционное сопротивление.* Изменяется пропорционально ускорению, не зависит от величины и скорости смещения. Препятствует любому изменению скорости и, в частности, направлению движения. Оно ухудшает точность управления из-за опасности перерегулирования, поэтому стараются уменьшить его влияние. Такой тип сопротивления применяется крайне редко.

## 6.4. Основные рекомендации для проектирования органов управления и технологического управления

Органы управления в системе «человек-машина» используются для решения следующих задач: ввода командной (цифровой и логической) информации, установки требуемых режимов работы аппаратуры, регулировки различных параметров, вызова информации для контроля и т.п. Для решения этих задач используются различные типы органов управления, которые могут быть классифицированы по ряду признаков.

По характеру выполняемых человеком движений различают:

1. Органы управления, требующие движений включения, выключения или переключения.

2. Органы управления, требующие повторяющихся движений: вращательных, нажимных, ударных.

3. Органы управления, требующие точных дозированных движений.

По назначению и характеру использования оператором органы управления разделяются на следующие группы:

1. Оперативные (основные), используемые постоянно, для программного управления, установки режимов работы, длительного регулирования параметров системы, ввода управляющей и командной информации.

2. Используемые периодически (обычно это вспомогательные органы управления для включения и выключения аппаратуры, периодического контроля ее работоспособности и выполнения других операций, не требующих высокой скорости управляющих воздействий).

3. Используемые эпизодически, связанные с настройкой, калибровкой основной аппаратуры и регулировкой работы вспомогательного оборудования, регламентными работами, подключением к индикаторам датчиков измеряемых параметров и выполнением других эпизодических операций.

По конструктивному исполнению органы управления распределяются на целый ряд подгрупп: кнопки, тумблеры, рукоятки, селекторные переключатели, педали и т.п.

Независимо от типа и характера применяемых органов управления при их выборе и проектировании необходимо учитывать целый ряд общих инженерно-психологических требований. Основными из них являются следующие:

Расположение органов управления должно осуществляться с учетом принципа экономии движений. Это означает, что их количество и траектории должны быть сведены до минимума; сами движения должны быть простыми и ритмичными; каждое движение должно заканчиваться в положении, удобном для начала следующего движения; предыдущие и последующие движения должны быть плавно связаны; работу, выполняемую оператором, по возможности следует распределить между обеими руками.

При установке органов управления необходимо учитывать привычные для человека стереотипы движений. Положениям «Пуск», «Включено», «Увеличение», «Подъем», «Открытие» или движениям «Вперед», «Вправо», «Вверх» должны соответствовать перемещения рычагов вверх, от себя, вправо, повороты маховичков или ручек по часовой стрелке (для водопроводных кранов – наоборот!), а для кнопок - нажатие верхних, передних или правых кнопок.

Органы управления должны обладать достаточным сопротивлением, чтобы уменьшать возможность случайного включения их под тяжестью руки или ноги. Кроме того, важно иметь в виду, что ощущение усилия человеком важно для регулирования его движений.

При проектировании органов управления следует предусмотреть меры по исключению случайного или несвоевременного срабатывания тех органов, которые связаны с возможностью возникновения аварий-

ной ситуации. Такие органы управления должны обеспечиваться блокировкой или сигнализацией (световой или звуковой), включаемой при запрещении работы с ними.

В наиболее простых случаях задача сводится к обоснованному выбору определенного органа управления исходя из стандартного ряда органов управления. Но и в этом случае надо знать те основные факторы, которые влияют на задачу управления, особенно при разработке новых эргатических систем.

*Понятие оптимального органа управления и его выбор*

Не существует плохих и хороших органов управления в обычном понимании этого слова. Их пригодность зависит от выполняемой оператором конкретной задачи управления. Поэтому один орган управления в одном случае пригоден для данной задачи, а в другом – может оказаться непригодным. Можно выделить два этапа в выборе оптимальных органов управления.

**1 этап.** Выявление основных характеристик и факторов, определяющих условия его практического использования. К ним относятся следующие *основные факторы*:

*- функции органов управления*:

назначение, важность и значимость органов управления,

*- параметры управляемого объекта:*

диапазон управляемого параметра и его скорость;

- *характер параметра управляемого объекта:* непрерывное изменение, дискретное изменение, тип регулируемой переменной;

*- задача (цель) управления*:

а) обеспечение заданного закона изменения регулируемой переменной во времени,

б) поддержание неизменным заданного значения регулируемой величины,

в) удовлетворение односторонним, двусторонним или комбинированным ограничениям (рис.6.10 а, б, в).

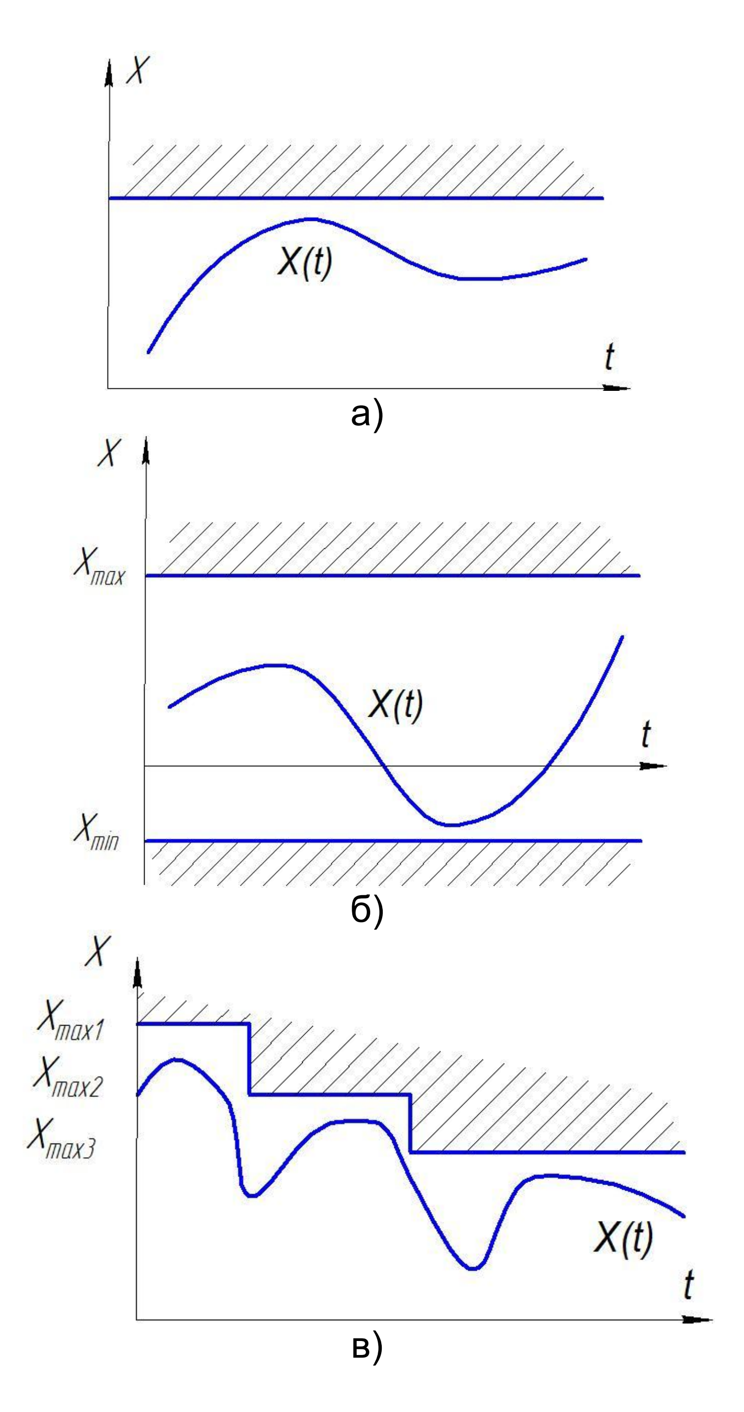



Рис. 6.10. Различные условия ограничений на перемещение рабочего органа

Требования к рабочим органам можно разделить на следующие:

- Требования, обусловленные задачей, которую решает оператор, т.е. требования по точности, скорости и диапазону перемещения органов управления (например, линейное или круговое). Особую роль играет требование по усилиям на органы управления.
- Требования, определяемые компоновкой рабочего места. В частности, вопрос согласования рабочей зоны с геометрией пространства, в котором предполагается разместить проектируемые органы управления при обеспечении условий надеж-

ного функционирования органов управления, их взаимосвязи с другими органами управления и индикаторами.

- Требования к качеству работы оператора с органами управления, связанные с надежностью и безошибочностью работы оператора. В частности, требования к опознанию органа среди других (например, недопустимость путания педалей), к опознанию его положения (включено-выключено) и восприятию любого изменения в положении органов управления.

**2 этап.** Необходимо удовлетворение следующих общих рекомендаций.

1. Необходимо выбирать такой тип и конструкцию органов управления, при которых в максимальной степени используются возможности моторной сферы оператора (рук и ног). При этом органы управления, требующие быстроты и точных управляющих движений, должны быть предназначены для рук. Рукам можно поручить органы управления различных типов. Действия на органы управления, требующие больших и продолжительных усилий, должны выполняться ногами. *При этом для каждой ноги может быть предназначено не более двух органов управления.*
2. Необходимо выбирать такие типы органов управления, перемещения которых согласуется с перемещением указателя, связанного с ним индикатора или с движением самого управляемого объекта.
3. Необходимо применять поворотные органы управления с большим передаточным отношением в случаях, когда требуется высокая точность управления в широком диапазоне контролируемых координат.
4. Необходимо использовать дискретные органы управления во всех случаях, когда для обеспечения задачи точности управления достаточно иметь небольшое количество (менее 24) фиксированных состояний.
5. Непрерывные органы управления следует применять, когда нужно обеспечить более 24 фиксированных положений и нужно обеспечить более высокую точность управления изменением величины в широком диапазоне изменения управляемого параметра.
6. Необходимо объединить в группу функционально связанные органы управления во всех случаях, когда это уменьшает расстояние от оператора до соответствующего органа управления или для экономии места в рабочей зоне оператора.
7. Все органы управления должны различаться по местоположению на пульте управления. В частности, главные и аварийные органы управления (рис.6.11) должны опознаваться не только

зрительно, но и на ощупь (при помощи тактильных анализаторов).

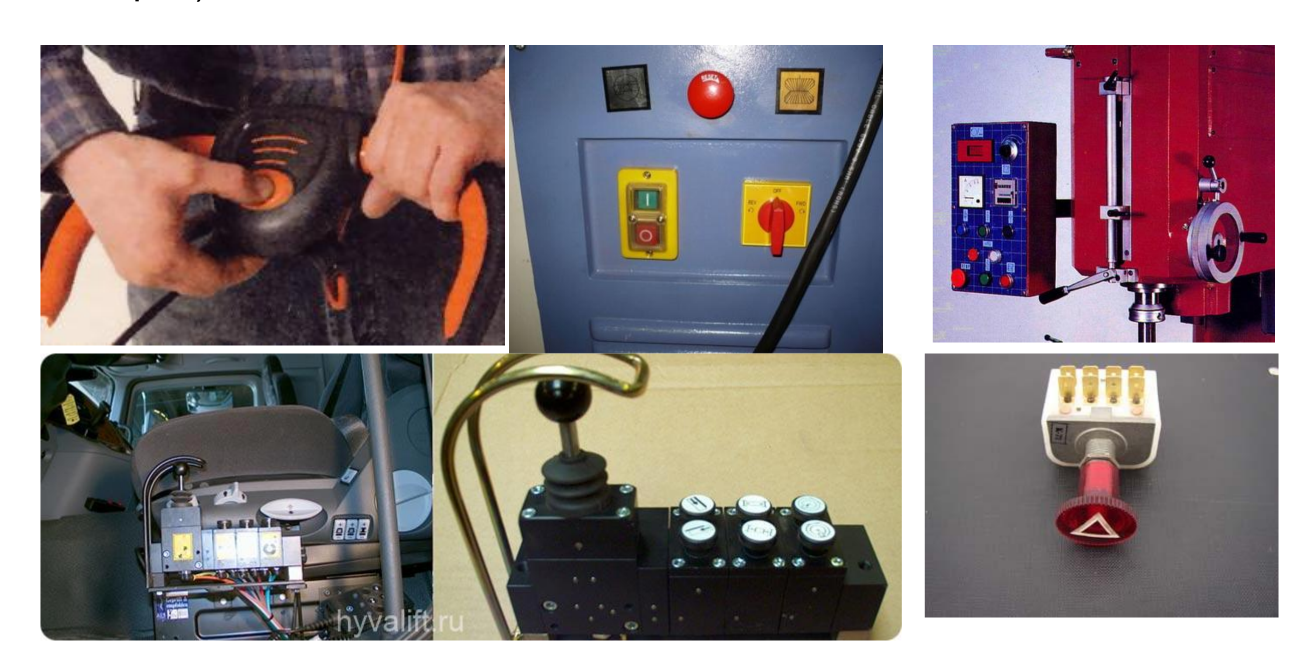



Рис. 6.11. Аварийные органы управления всегда выделены красным цветом, имеют больший по сравнению с другими размер. Для упреждения непреднамеренного включения над органом управления устанавливают защитный кожух

Для облегчения управления, уменьшения ошибок и времени поиска органа управления можно использовать различные методы их кодирования. Одним из наиболее употребительных способов является кодирование с помощью пояснительных надписей.

Существует проблема согласования перемещения органов управления со смещением указателей индикаторов. На основании экспериментальных исследований и опыта эксплуатации машин в эргономике установлены следующие правила:

1. При выборе направления движения органа управления необходимо учитывать расположение и ориентацию оператора по отношению к органу управления и управляемому объекту.

Всегда предпочтителен вариант ориентации оператора по направлению движения объекта.

При ручном управлении космическим объектом оказалось, что космонавт в иллюминатор мог смотреть только в бок из-за особенностей конструкции корабля. При этом отсутствует сила тяжести – ориентация затруднена. Были существенные нарекания космонавтов и пожелания видеть направление движения. Тоже – в авиации. Много летчиков погибло при выходе через облачность в заоблачный слой – терялось ощущение верха и низа.

2. Принятая схема согласования органов управления и индикаторов должна быть единообразно выдержана для всей совокупности органов управления и индикаторных устройств.

3. Согласование направлений перемещений органов управления и индикаторов должно быть подчинено конечной цели процесса управления. Так, уменьшение температуры воздуха в контролируемом объекте может быть организовано за счет закрытия клапана горячего воздуха или открытия клапана холодного воздуха. Орган управления должен быть сделан так, чтобы его движение вверх соответствовало повышению температуры.

4. Необходимо использовать прямое соответствие перемещению органов управления и индикаторов (вправо орган – вправо индикатор).

## 7. ФАКТОРЫ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ОПЕРАТОРА

Рассмотрим внутренние и внешние условия функционирования оператора на рабочем месте.

Возможны случаи, когда новая машина технически работоспособна, но с эргономической точки зрения неприемлема, т.к. предъявляемые к оператору требования превосходят его психофизические возможности. Внешняя среда воздействует на человека–оператора и его работоспособность. По истечении некоторого времени внутреннее психофизическое состояние оператора может ухудшиться. Психофизическое состояние можно характеризовать:

- температурой тела и его частей;
- частотой пульса;
- частотой дыхания;
- давлением крови;
-химическим составом крови и другими параметрами.

Среди множества факторов окружающей среды следует назвать давление, влажность и температура окружающей среды, шум, вибрация, ускорение и т.д.

В ряде специфических случаев следует дополнить следующими факторами: электрическое и электромагнитное поле, ионизирующее излучение, радиация, невесомость и пр.

Будучи подверженным комплексному воздействию указанных факторов, организм ведет себя как сложная саморегулируемая система, способная к компенсации внешних возмущений и поддержанию внутренних параметров организма в сравнительно узких пределах. За счет этого свойства *саморегуляции* человек способен поддерживать свои эргономические параметры на требуемом уровне при допустимых колебаниях параметров внешней среды.

## 7.1. Классификация факторов внешней среды

По специфике воздействия на организм человека и физиологическим особенностям профессиональной деятельности все факторы условно можно разделить на три группы: физические, химические факторы и биологические (рис. 7.1, 7.2).

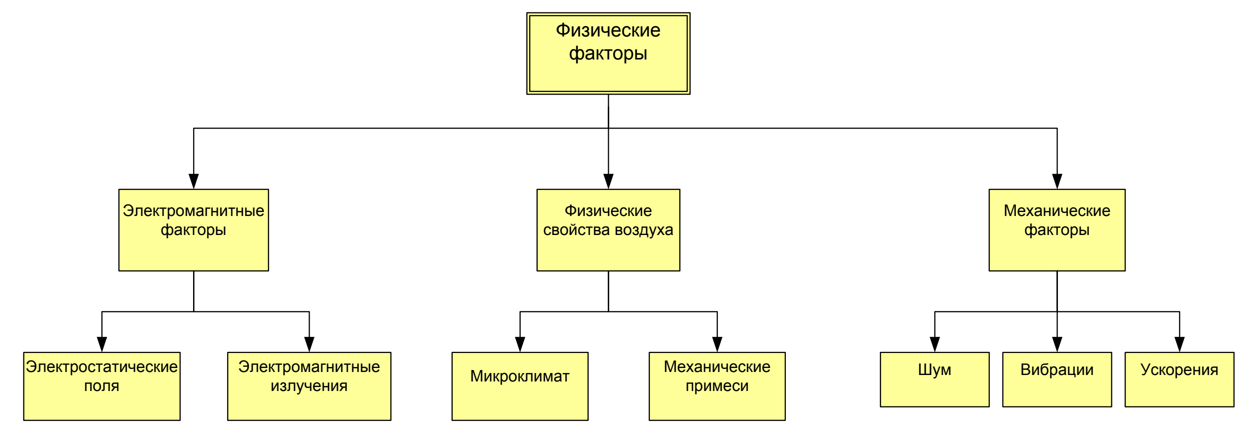



Рис. 7.1. Классификация физических факторов

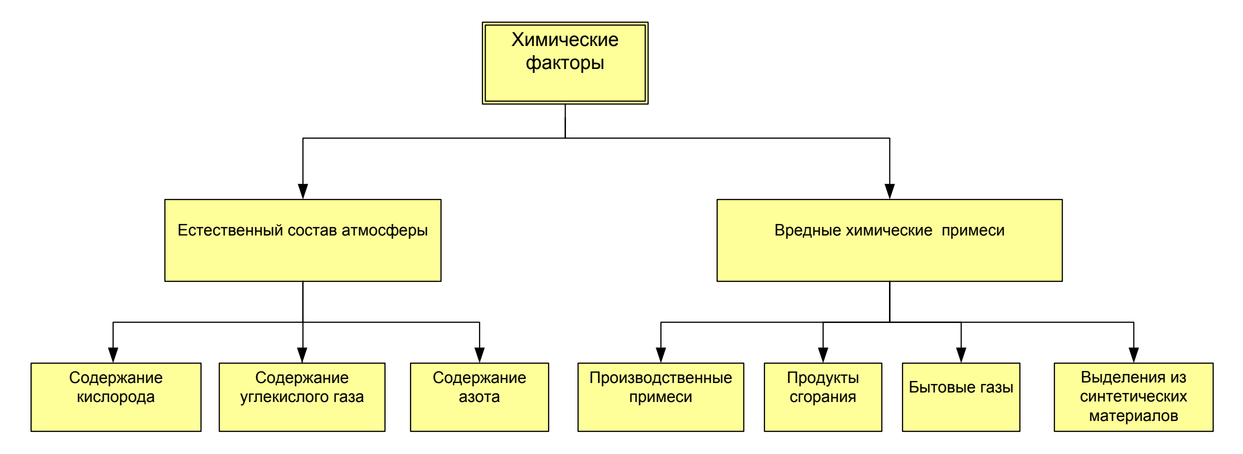



Рис. 7.2. Классификация химических факторов

С проблемой выделений из синтетики столкнулись в гражданской и военной авиации, в подводном флоте, где в замкнутом пространстве вентиляция затруднительна.

*Биологические факторы* также влияют на оператора, к ним относятся патогенные микроорганизмы, микроорганизмы-продуценты (автотрофы), препараты, содержащие живые клетки и споры микроорганизмов, белковые препараты.

Работа в сельском хозяйстве, уборка общественных туалетов, работа в биологической и фармакологической промышленности, а также в медицине, связана с влиянием биологических факторов. В окружающей среде существуют биологические факторы, вызывающие у человека различные заболевания. Это болезнетворные микроорганизмы и вирусы. Наиболее опасны возбудители инфекционных забо-

леваний. К числу особо опасных карантинных заболеваний в международном масштабе относятся: чума, оспа, холера, желтая лихорадка, ВИЧ-инфекция и малярия. Важнейшей особенностью инфекционных болезней является то, что непосредственной причиной их возникновения служит внедрение в организм человека вредоносного (патогенного) микроорганизма или вируса.

Непатогенные микроорганизмы-продуценты, живые клетки и споры, содержащиеся в бактериальных препаратах обладают общетоксическим и аллергическим действием на организм человека.

## 7.2. Влияние факторов внешней среды на организм человека и характеристики его работоспособности

*Микроклимат и его влияние на характеристики оператора*

Для воздуха рабочей зоны важной характеристикой является газовый состав и предельно допустимая концентрация вредных газов, паров и пыли. В обычном воздухе содержится около 20% кислорода, 78% азота, 0,03% углекислого газа. Уменьшение дозы кислорода до 14% вызывает кислородное голодание организма, а при 6–9 % возникает опасность для жизни. Увеличение содержания углекислого газа в воздухе до 3% вызывает раздражение дыхательных путей человека, появление головной боли, головокружения, вялости. Поэтому содержание этого газа не должно превышать в рабочих помещениях 0,1% – в обычных условиях и 0,5% – в условиях кратковременной работы.

Гипоксия (кислородная недостаточность). В большей или меньшей степени проявляется во всех производственных помещениях, проявляется в высокогорных и густонаселенных районах. Наиболее чувствительный показатель гипоксии – потеря функции зрения. И, в частности снижение абсолютной и контрастной чувствительности. Качественная картина изменения нижнего абсолютного порога чувствительности зрительного анализатора:

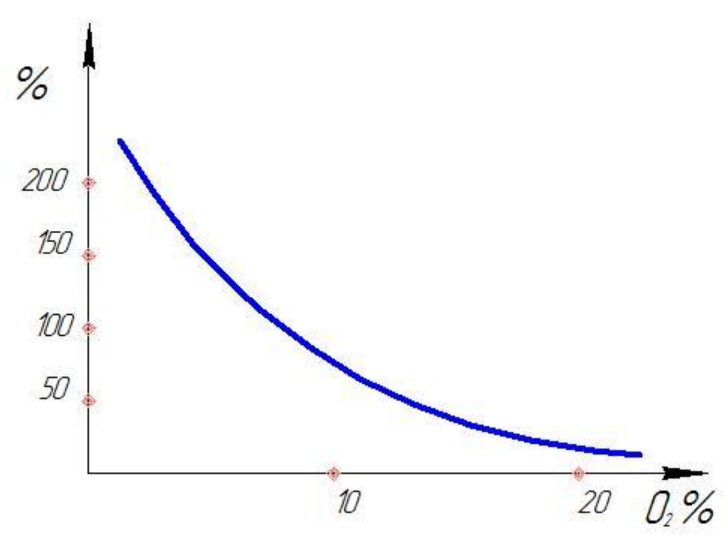



Рис. 7.3. Зависимость ухудшения чувствительности зрения в % от содержания кислорода в атмосфере в %

Отмечается также ухудшение чувствительности слухового анализатора при длительной кислородной недостаточности. При снижении парциального давления $O_2$ со 159 мм рт. ст. до 109 мм рт. ст. (падение на 30%) нарушения и срывы выполнения задач, требующих сложной координации движений. Уменьшение кислорода существенно влияет на память, интеллектуальные функции. При снижении давления $O_2$ на 50-60% заметно возрастает время реакции оператора ($\tau_{лат} + \tau_{движ}$). Обе эти составляющие увеличиваются и ухудшаются возможности оператора в компенсаторном и преследующем движении. Гипоксия опасна для водителей транспорта в высокогорных районах.

## 7.3. Температурно-влажностный режим

Режим характеризуется тремя параметрами: температурой воздуха, влажностью и скоростью ветра. При слишком низкой или слишком высокой влажности наблюдается быстрая утомляемость человека, ухудшение восприятия и памяти. Высыхают слизистые оболочки человека, движущиеся поверхности трескаются, образуя микротрещины, куда напрямую проникают вирусы и микробы (влажность до 5-7 %).

Для улучшения микроклимата в производственных помещениях должна быть обеспечена оптимальная скорость движения воздуха. Для учреждений и общественных мест рекомендуется скорость воздушного потока 0,2 м/с, влажность 30-45%. В зависимости от категории работ, времени года, относительной влажности воздуха и температуры оптимальная скорость движения воздуха составляет 0,15 - 0,2 м/с. С увеличением температуры и влажности воздуха рекомендуемая скорость движения воздуха возрастает, достигая 1 - 2 м/с. Скорость воздушного потока более 6 м/с ощущается как неприятный сквозняк, а

больше 11 м/с – ухудшает изоляционные качества одежды. Есть примеры производств, когда невозможно обеспечить комфортные условия работы опреатров. Например, цех по производству стекловолокна имеет температуру +35 ... +40 град. Цельсия и почти полное отсутствие движения воздуха. Повышенная скорость движения воздуха препятствует нормальному течению технологического процесса в производстве стекловолокна, она может приводить к повышенной частоте разрыва формирующейся стеклянной нити.

В эргономике принято комплексно оценивать параметры воздействия путем сведения их к значению одного параметра – *эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ)*, т.к. все три параметра влияют на температуру человеческого тела. При этом эквивалентная температура совпадает с фактической температурой воздуха при 100% относительной влажности и скорости движения воздуха, равной нулю. Экспериментально установлено, что характеристики работоспособности оператора начинают заметно ухудшаться, начиная с $t_{экв}=29^0$. В справочниках по эргономике есть таблицы перевода.

Рассматриваются нижние пределы, т.к. способность человека противостоять ЭЭТ существенно варьируется (рис. 7.4). При повышении ЭЭТ работоспособность умственного труда падает быстрее физического труда.

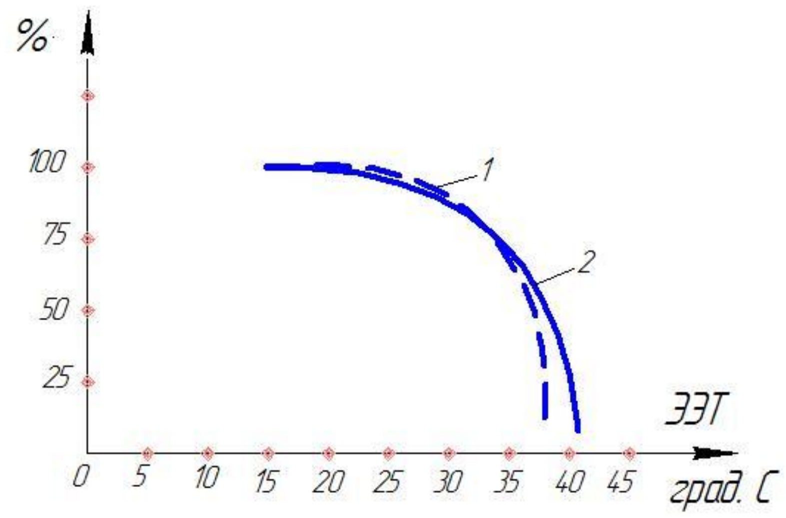



Рис. 7.4. Зависимость работоспособности в % от ЭЭТ:
1 – для умственного труда, 2 – для физического труда

Относительное значение температурно-влажностного режима, к которому необходимо стремиться при проектировании рабочего места:

$t_{возд}$=20…22$^0$ С, относительная влажность 45%, скорость воздуха 0,2 м/с.

Область ЭЭТ в интервале температур от 17 до 22 °С соответствует **зоне комфорта**, внутри которой можно выделить линию комфорта, соответствующую ЭЭТ = 19 °С, при которой почти у всех иссле-

дуемых людей возникает ощущение комфорта (рис. 7.5). Для определения зоны комфорта используется психрометр – прибор для определения относительной влажности (рис. 7.6), который состоит из двух спиртовых термометров. Один термометр — сухой, а второй имеет устройство увлажнения. Спиртовая колба влажного термометра обёрнута батистовой лентой, конец которой находится в сосуде с водой. Вследствие испарения влаги увлажнённый термометр охлаждается.

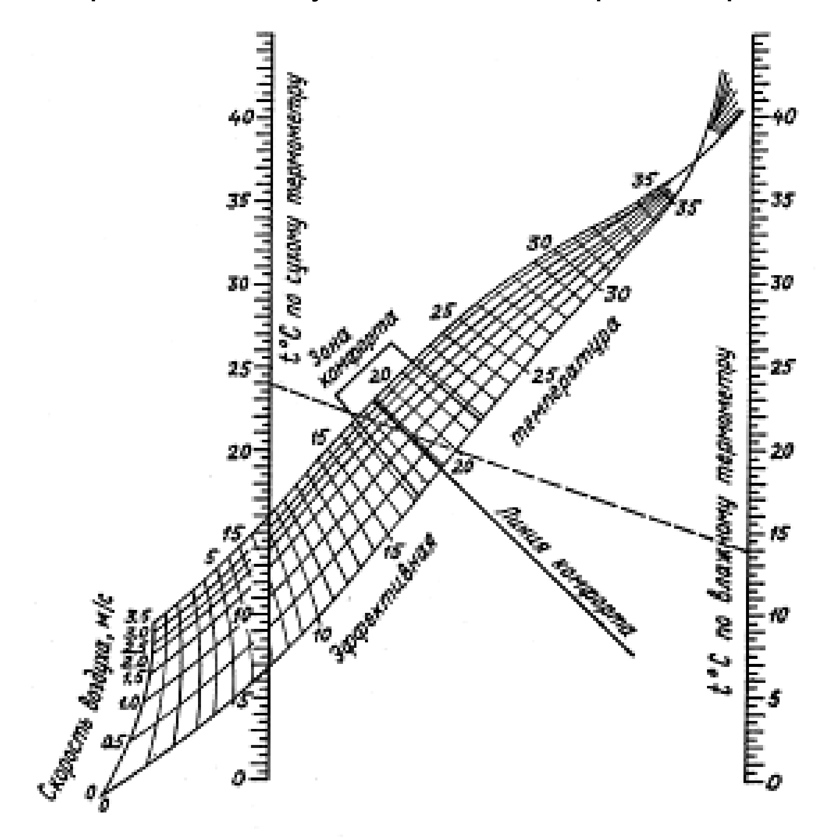



Рис. 7.5. Номограмма для определения зоны комфорта



Рис. 7.6. Психрометр

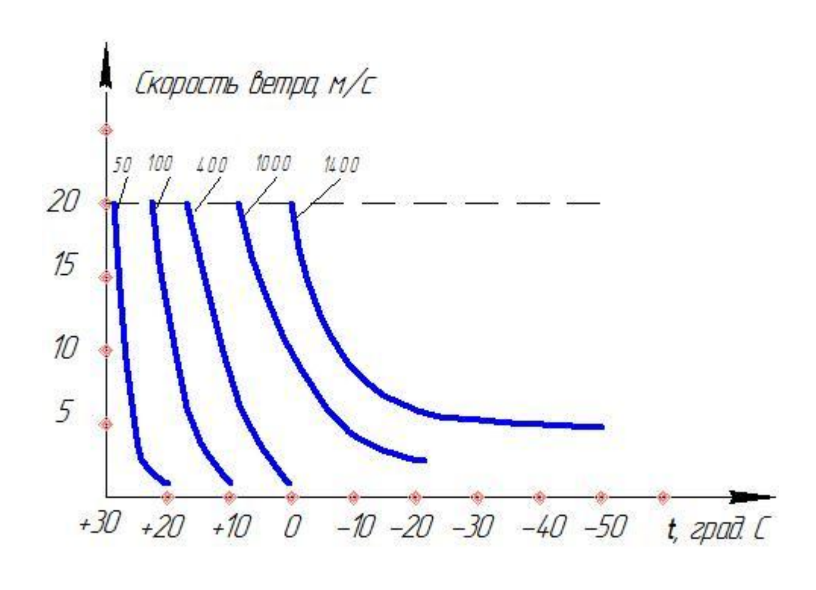



Рис. 7.7. Номограмма для определения ИОДВ по скорости ветра и температуре

При разработке оборудования, на котором операторы работают при низких температурах, имеют практический интерес факторы перенесения человеком *отрицательных* тепловых нагрузок (холода). В практических расчетах для оценки температуры на работоспособность используется особый коэффициент – индекс охлаждающего действия ветра (ИОДВ). Этот ИОДВ отражает субъективное ощущение холода в зависимости от температуры воздуха и скорости ветра (рис. 7.7). В справочниках приводится номограмма пересчета параметров. ИОДВ= 50 – жарко, 100 – тепло, 400 – прохладно, 1400 – открытые участки замерзания.

При повышении ИОДВ падает тактильная чувствительность и повышается время реакции (рис. 7.8).

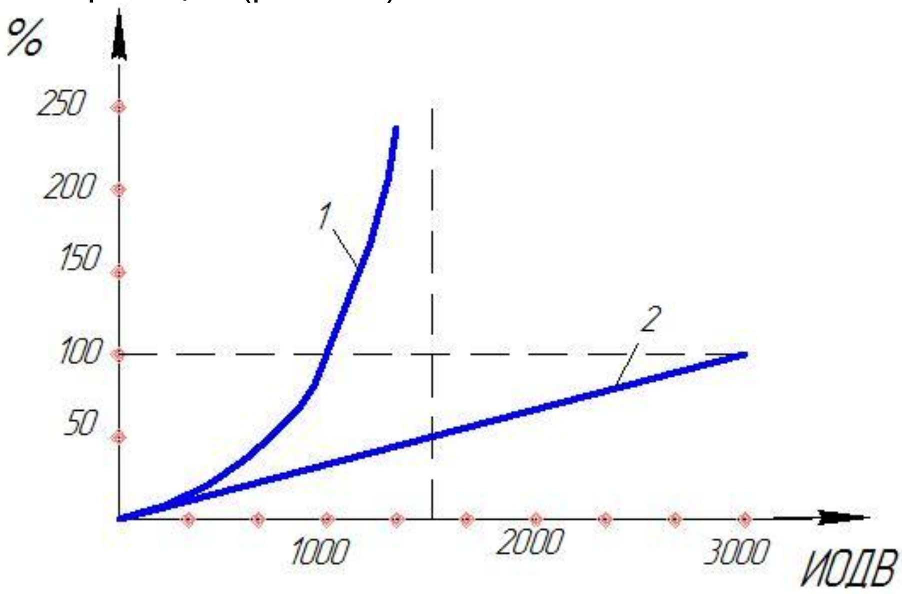



Рис. 7.8. Зависимости ухудшения характеристик оператора от ИОДВ: 1 - тактильной чувствительности, 2 - времени реакции

Все данные, характеризующие работоспособность оператора получены в условиях одежды оператора, соответствующей специфике деятельности. Биологическое воздействие холода связано с уменьшением чувствительности кожного покрова и увеличением вязкости суставной жидкости. При скорости ветра более 8 м/с и температуре менее +15$^0$С время моторных реакций ухудшаются.

Кроме ИОДВ пользуются также таблицами ветро-холодового индекса (табл. 7.1), которая отражает субъективное ощущение низкой температуры.

Табл. 7.1

**Таблица ветро-холодового индекса**

| Сила ветра, м/сек | Температура °С | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **10** | **5** | **0** | **-5** | **-10** | **-15** | **-20** | **-25** | **-30** | **-35** | **-40** | **-45** | **-50** |
| **Штиль** | 10 | 5 | 0 | -5 | -10 | -15 | -20 | -25 | -30 | -35 | -40 | -45 | -50 |
| **2 - 3** | 9 | 3 | -2 | -7 | -12 | -17.5 | -25 | -28 | -33 | -38 | -44 | -49 | -54 |
| **4 - 5** | 4 | -2 | -8 | -14 | -21 | -27 | -34 | -38 | -44 | -51 | -57 | -63 | -69 |
| **6 - 7** | 2 | -5 | -12 | -19 | -25.5 | -32 | -39 | -44 | -51 | -58 | -65 | -72 | -80 |
| **8 - 9** | 0 | -7 | -14 | -22 | -29 | -35.5 | -43 | -49 | -56 | -64 | -71 | -78 | -85.5 |
| **10** | -1 | -7.5 | -15.5 | -23 | -30.5 | -36.5 | -44.5 | -50.5 | -58 | -65.5 | -74 | -80 | -88 |
| **11-12** | -1,5 | -8 | -17 | -24 | -32 | -38 | -46 | -52 | -60 | -67 | -75.5 | -83 | -90.5 |
| **13-14** | -2 | -10 | -18 | -26 | -34 | -40 | -49 | -54 | -63 | -70.5 | -78 | -87 | -94 |
| **15-16** | -3 | -11 | -19 | -27 | -35 | -42 | -50.5 | -57 | -64 | -73 | -81 | -89 | -97 |
| **17-18** | -3,5 | -12 | -20 | -28 | -36 | -43 | -52 | -58 | -68 | -74 | -82 | -90 | -99 |
| Умеренная зона | | | | | Зона нарастающей опасности | | | | | Опасная зона | | | |

*Чем выше скорость ветра, тем больше охлаждающее влияние отрицательных температур.* На холод организм реагирует увеличением количества тепла, производимого мускулатурой (мышечная дрожь), сужением кровеносных сосудов, особенно в конечностях. Однако при температуре воздуха ниже 0°С кровеносные сосуды конечностей должны расширяться, чтобы предотвратить отморожение, а это увеличивает отдачу тепла. От внутренней части тела тепло передаётся мускулам и кожному покрову при помощи циркуляции крови. Физическая нагрузка, в том числе способствует усилению циркуляции крови, замедляет процесс охлаждения тела. Если на каком-то участке тканей тела температура опускается ниже нуля, то наступает отморожение этого участка.

## 7.4. Влияние постоянных ускорений на организм человека

Влияние ускорений на организм существенно зависит от направления действия вектора ускорений, поэтому человека «привязывают» к системе координат XYZ. Ось X направлена перпендикулярно спине и продольной оси человека, ось Y – вдоль спины и перпендикулярно продольной оси человека, ось Z – по продольной оси человека (рис. 7.9). Действие ускорений имеет большое значение при работе в авиации и космонавтике. Перегрузки, которые испытывает космонавт под действием ускорения, обозначаются направлением смещения при этом внутренних органов человека (показано стрелками). На этом же рисунке приведена широко используемая система обозначения направления действия ускорений по смещению глазных яблок: 1 – ускорение вперед, глазные яблоки вдавливаются; 2 – ускорение вниз (к ногам), глазные яблоки смещаются вверх; 3 – ускорение вправо, глазные яблоки смещаются влево; 4 – ускорение назад, глазные яблоки выхо-

дят из орбит; 5 – ускорение вверх (к голове), глазные яблоки смещаются вниз; 6 – ускорение влево, глазные яблоки смещаются вправо (рис. 7.9). Смещение и деформация глазных яблок вызывает ухудшение характеристик зрительного анализатора, приводящее к ошибкам получения зрительной информации.

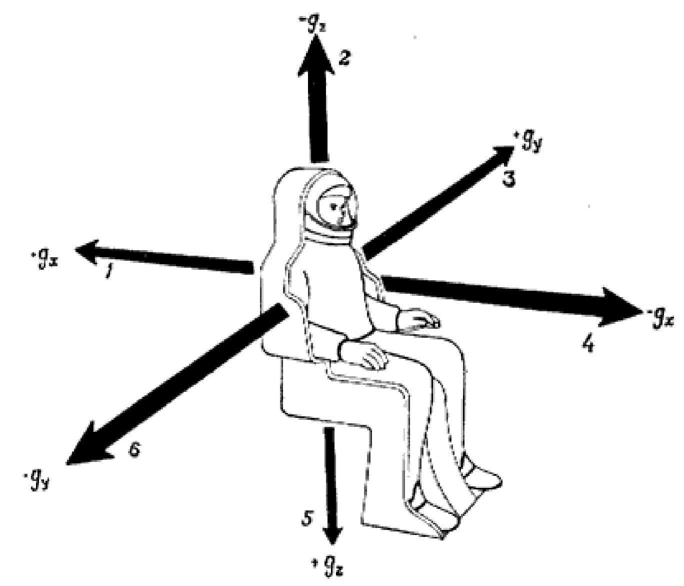



Рис. 7.9. Привязка осей координат к телу человека

Многочисленные эксперименты показывают, что наиболее опасное направление ускорения - вдоль оси Z. Ускорения ударные и вибрационные имеют сходство по степени воздействия. Выяснено, что кроме величины ускорения на человека влияет существенно и продолжительность действия фактора ускорения.

Т.к. кровь – наиболее подвижная часть организма, то при воздействии ускорений происходят, прежде всего, изменения в кровеносной системе организма. Если ускорение направлено от таза к голове (вверх), то по инерции кровь оттекает от головы и приливает к нижним конечностям, снабжение кислородом головы ухудшается. Если действие ускорения величиной 3g продолжается более 1 минуты, то сначала возникает расстройство зрения, а затем наступает обморочное состояние.

При увеличении ускорений возникают повреждения тканей. Механизм повреждения тканей включает разрывы поддерживающих связок и оболочек внутренних органов, приводящих в частности к кровоизлиянию, в результате их большого смещения и деформаций.

Пороговые значения ускорений W, вызывающие травмы и действующие по оси Z, имеют значения $W \geq 20g$ при $t \geq 4$ с. Предельно переносимые для головы угловые ускорения $\varepsilon = 8{,}8 \ldots 9{,}4$ $с^{-2}$.

## 7.5. Воздействие вибрации на организм человека и характеристики его работоспособности

Вибрация представляет собой процесс распространения механических колебаний в твердом теле. При воздействии вибрации на организм важную роль играют анализаторы ЦНС — вестибулярный, тактильный и другие.

Проблема вибрации в системе «человек-машина» – это проблема воздействия возмущающей силы на тело человека. Результат воздействия зависит от параметров колебаний, направления колебаний относительно оси тела человека, коэффициента поглощения тканей. Вред, причиненный вибрацией, зависит от амплитуды, частоты, энергии, скорости и силы колебаний. Вибрация с большой частотой и малой амплитудой оказывает наиболее неблагоприятное воздействие на человека, вызывая головные боли, утомление, напряжение зрения. Она может привести к заболеванию суставов, мышц, нарушению двигательных функций, возникновению «вибрационной болезни» (рис. 7.10). Для каждой части тела человека характерен свой особый критический уровень резонанса колебаний.

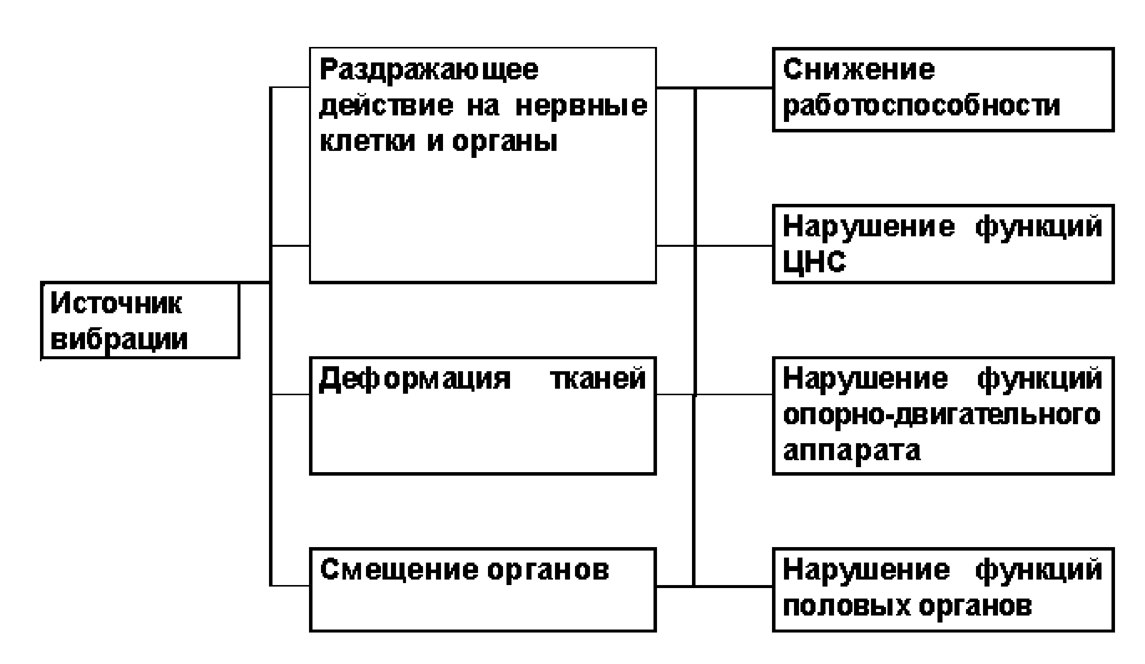



Рис. 7.10. Виды влияния вибрации на человека

С точки зрения теории колебаний тело человека выступает как сложная многомассовая колебательная система с определенным спектром собственных частот. Интерес с точки зрения эргономики представляют частоты вынужденных колебаний, совпадающие с собственными частотами различных органов и частей тела. Разработаны математические модели человеческого тела, удовлетворяющие описанию его реакций в диапазоне 1…200 Гц.

Вибрации малой величины влияют на психомоторную деятельность человека. На частотах от 4 до 10 Гц и при $W_{ампл}$>0,3g искажается речь человека. Нарушение психомоторной деятельности наступает при $W_{ампл}$>0,1g в области частот 1…10 Гц. Болевые ощущения и дискомфорт вследствие резонансных колебаний системы «грудь-живот» возникают в диапазоне частот 4-10 Гц. Резонансы головы (8-27 Гц) вызывают снижение остроты зрения вследствие смещения изображения объекта относительно сетчатки глаза при $W_{ампл}$>0,1g. Болезнь движения – реакция на вибрации 0,1…1 Гц. Возрастание тремора рук проявляется при частотах 1…100 Гц. Затруднение дыхания 1-10 Гц. Укачивание 0,1 – 0,5 Гц. Вредное влияние на зрение 1-100 Гц.

Сердечнососудистые реакции на инфразвуковые частоты при $W_{ампл}$>0,1g проявляются в ускорении пульса, повышении минутного объема крови и артериального давления. Локальная вибрация может привести к сокращению периферических сосудов и ограничению снабжения кровью конечностей, что может быть устранено путем нагрева. Вредное влияние вибраций приведено в табл. 7.2.

Табл. 7.2.Вредное влияние вибраций

| Частота колебаний, Гц | Характер вредного влияния | Примечание |
|---|---|---|
| 0,1 – 0,5 | укачивание (кинетоз) | |
| 1 – 10 | нарушение психомоторной функции, затрудненное дыхание | при W>0,1 g |
| 4 – 10 | искажение речи<br>болевые ощущения в области «грудь-живот» | при W>0,3 g<br>при W>1 g |
| 8 – 27 | снижение остроты зрения | при W>0,1 g |
| 1 – 100 | тремор рук, вред зрению | - |
| 0,1 – 20 | ускорение пульса, повышение артериального давления | инфразвук (в атмосфере) при W>0,1 g |

В 70 – х годах 20 века английскими учеными (Gierke H.E. и др.) предложена следующая механическая модель тела стоящего и сидящего человека (рис. 7.11). Она имеет 9 степеней свободы.

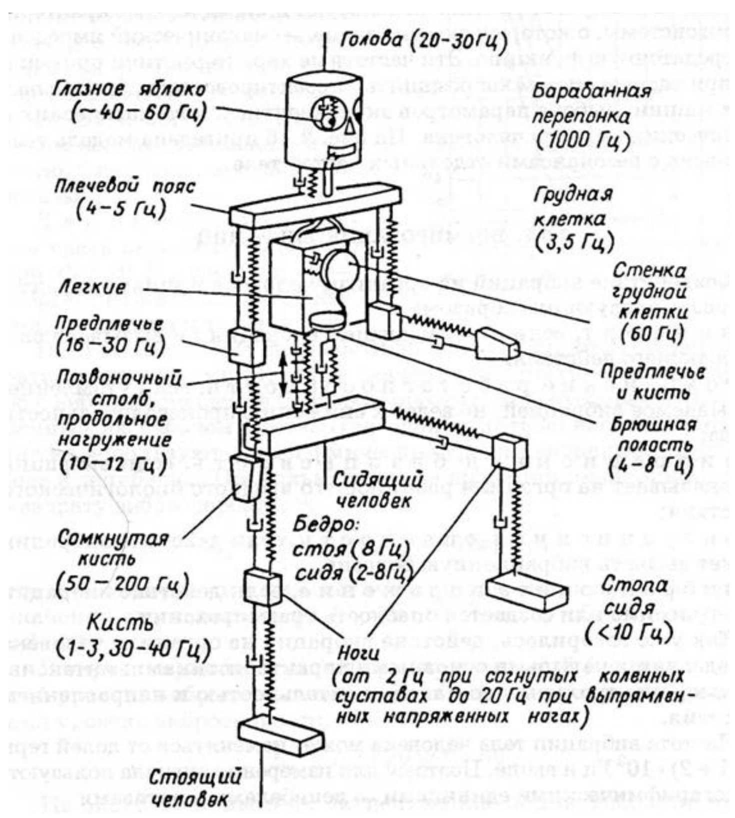



Рис. 7.11. Механическая модель колебательной системы человека и резонансные частоты частей тела

Модель имеет следующие части:

- Глазные яблоки, внутриглазные образования (собственные частоты лежат в пределах 30…90 Гц).
- Голова (вибрации вдоль оси Z – 25 Гц).
- Плечевой пояс (4…5 Гц).
- Грудная клетка (60 Гц).
- Полость легких.
- Позвоночник (вдоль оси Z – 10…12 Гц).
- Живот (4…8 Гц).
- Ноги (2…20 Гц, частота зависит от степени напряжения мышц ног).

Как видно из схемы, все элементы, кроме грудной клетки, имеют колебания вдоль оси Z. Угловые колебания в модели не учитываются. Не рассматриваются также колебания отдельных внутренних органов, таких как сердце, печень, желудок и т.д. Однако, такая модель дает представление об основных резонансных характеристиках человеческого тела. По другому источнику резонансные частоты тела человека следующие:

- глаза 12-27 Гц,
- горла 6-27 Гц,
- грудной клетки 2-12 Гц,
- ног, рук 2-8 Гц,
- головы 8-27 Гц,
- лица и челюсти 4-27 Гц,

– поясничной части позвоночника 4-14 Гц,
– живота 4-12 Гц.

Для практических расчетов и теоретических исследований систем виброзащиты, а также медицинских физиотерапевтических приборов используют динамические модели тела человека в виде аналитических соотношений. Расчетные динамические модели, а также антропоморфные манекены должны быть эквивалентны телу человека по следующим показателям:

– геометрическим размерам и формам,
– распределению масс частей тела (в частности по расположению центров масс частей тела, значению этих масс, моментов инерции),
– видам соединений отдельных звеньев,
– упругим и демпфирующим свойствам.

При малых колебаниях и частотах до 100 Гц тело человека можно рассматривать как линейную вязкоупругую механическую систему. Ее описывают с помощью частотных характеристик.

Такие модели человека позволяют при проектировании техники, в частности транспорта, определить опасные собственные частоты колебаний машин, которые могут привести к ухудшению их эргономических характеристик.

## 8. ПРОБЛЕМЫ НАДЕЖНОСТИ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ, БЕЗОПАСНОСТИ ОПЕРАТОРОВ В ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Важнейшим условием для повышения качества и эффективности производства является обеспечение высокой надежности работы всей эргатической системы. Под надежностью эргатической системы следует понимать способность системы решать возложенные на неё функции своевременно и точно на протяжении заданного времени с минимальными затратами сил, средств, энергии.

Определяя надежность эргатической системы, необходимо учитывать следующее:

- единые для всех звеньев системы показатели надежности должны по возможности включать в себя в явном виде показатели ее отдельных звеньев – человека и техники;
- использование математического аппарата и методов расчета теории надежности технических средств при оценке деятельности человека имеет ограниченный характер;

Критерии надежности можно объединить в группы: безотказности, восстанавливаемости, готовности и своевременности. В качестве основных включают следующие показатели:

- вероятность безотказной работы,

- среднее время безошибочной работы,
- частота отказов,
- среднее время восстановления,
- коэффициент готовности,
- вероятность своевременного выполнения задания.

В деятельности человека можно выделить ряд функций, которые он выполняет с неодинаковой надежностью. Это прием информации, принятие решения, формирование результата, реализация решения. При приеме информации диспетчер, например, часто допускает ошибки вследствие сбоя внимания:

- рассеянности,
- неправильного его распределения,
- отвлечения (в течение 1 ч активной сосредоточенной работы за пультом диспетчерского центра диспетчер допускает свыше 30 отвлечений общей продолжительностью свыше 45 мин).

Большое число ошибок происходит вследствие отказов органов чувств.

Даже при высокой квалификации, идеальной конструкции технических средств, рациональной организации труда нормальный здоровый человек допускает одно-два ошибочных действия на сотню. При современной высокой социальной и стоимостной значимости ЭС такой объективный уровень надежности человека недостаточен.

Одна из основных причин ошибок человека – высокий динамизм условий его деятельности. Наиболее характерно это для работы железнодорожных диспетчеров, и прежде всего тех, кто руководит движением поездов на участках. Поэтому важная особенность функционирования эргатической системы – зависимость ее надежности от времени, необходимого на реализацию человеком алгоритма. Несмотря на работоспособное состояние технических средств и человека, могут появиться отказы вследствие недостатка времени на выполнение ряда операций внутри алгоритма.

При расчетах надежности эргатических систем необходимо учитывать качественные характеристики надежности, которые обусловлены:

- эргономическим соответствием техники и характера решаемых задач возможностям и потребностям человека;
- обученностью человека, соответствием его профессионального уровня сложности и требованиям выполняемой работы;
- индивидуальными особенностями человека (здоровье, состояние нервной системы и др.) и их согласованностью с требованиями профессии.

На практике не только факторы внешней среды влияют на работоспособность человека. Опасны также и машины с точки зрения техники безопасности (ТБ). Традиционный подход к оценке качества разработанной машинной системы (надежность, стоимость, эффектив-

ность и т.д.) оказывается недостаточным. Одним из основных параметров, характеризующих ЭС, является ее безопасность. Вопрос исследован недостаточно, даже в странах с высоким уровнем автоматизации до сих пор травматизм велик. Трудности исследований заключаются в следующем:

- пока даже в сфере производства с явно выраженными опасностями для жизни не удается исключить человека из сферы производства;
- стохастическая природа аварийных ситуаций в системах, возникающих вследствие непредвиденных отказов техники;
- случайный характер ошибочных действий человека в ЭС.

Три основных направления в инженерном подходе к проблеме безопасности:

1. Комплекс вопросов, связанных с совершенствованием собственно машин, технологического оборудования – снижение потенциальной опасности машины.
2. Вопросы целесообразной организации труда, включая задачу оптимального распределения функций, разработку оптимальных алгоритмов деятельности, мероприятий и правил ТБ.
3. Разработка специальных средств, мер защиты обслуживающего персонала от воздействий поражающих факторов, включая спец. защитные сооружения, спец. одежду.

Наиболее важен первый аспект. В специальной литературе известны три основных метода, позволяющих решить проблему улучшения ТБ:

1. *Технический метод* – сравниваются контролируемые параметры объекта с их значениями по стандартам. Метод позволяет установить факт наличия или отсутствия в данный момент времени опасной для человека ситуации, а также установить его происхождение. Метод полезен для сбора и накопления специальных данных по опасным ситуациям в конкретных системах, хотя и не претендует на получение количественных оценок степени опасности и не прогнозирует наступление опасной ситуации в будущем.
2. *Статистический метод* основывается на анализе и обобщении статистических данных зарегистрированных случаев травматизма, потерь рабочего времени, профессиям, квалификации и т.д.

Для количественной оценки степени опасности той или иной системы, технологического процесса предлагается использовать два коэффициента

$$k_ч = 1000\frac{A}{B}, \quad k_т = \frac{C}{A},$$

где $k_ч$ – коэффициент частоты, $k_т$ – коэффициент тяжести травмы, *А* – число зарегистрированных случаев, *В* – число рабочих, *С* – число дней, потерянных из-за нетрудоспособности.

Оценка общего уровня опасности машины или процесса осуществляется по основному коэффициенту

$$k_о = k_ч\, k_т .$$

3. *Монографический метод* – отличается от первых двух тем, что выявляются первопричины несчастных случаев. Основа метода – детальное изучение конструкций узлов и агрегатов системы, анализ технологического процесса, организации рабочего места, приемов труда, условий работы и отдыха с точки зрения ТБ. В ряде случаев на основе этого метода удается выявить первопричину аварий, происшедших в той или иной области и дать рекомендации для их предотвращения (широко практикуется в авиации).

## 8.1. Оценка функционального состояния оператора

Оценка функционального состояния человека-оператора преимущественно связана с исследованием утомления и динамики работоспособности в течение рабочего дня или периода какой-либо работы.

Работоспособность – максимальные функциональные возможности организма человека для выполнения конкретной работы.

Утомление – снижение работоспособности, вызванное работой и воздействием неблагоприятных условий труда.

Типичные кривые изменения работоспособности на протяжении рабочего дня и недели (по М.Ф. Гриненко, Г.Г. Саnoяну) показаны на рис. 8.1.

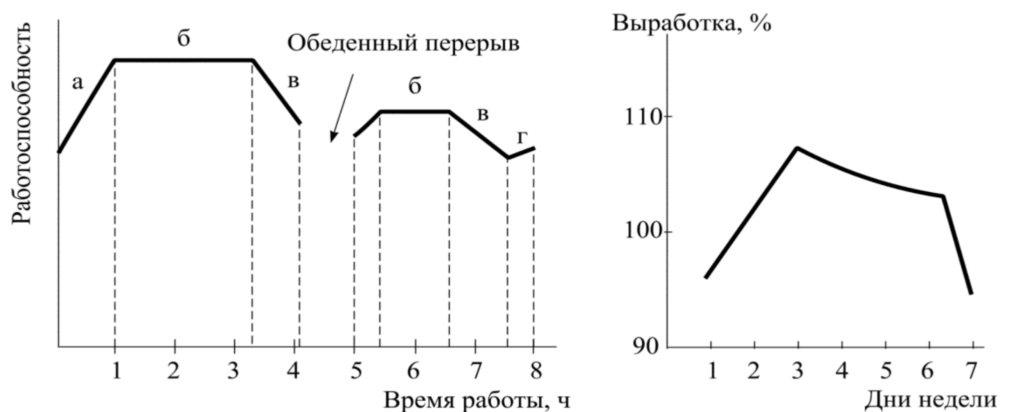



Рис. 8.1. Зависимости работоспособности человека от времени работы

В каждой половине рабочего дня можно различить три периода: врабатывание (а), поддержание высокой работоспособности (б) и период снижения работоспособности (в). Возможен еще один период (г)

– период кратковременного повышения работоспособности на фоне психологической мобилизации усилий перед самым окончанием работы («активный финиш» или «конечный порыв»).

Динамика работоспособности и утомления в течение рабочей смены (без учета времени на отдых в перерывах) приведена на рис.8.2. Продуктивность отличается от работоспособности возможностью преодоления усталости в краткие промежутки времени.

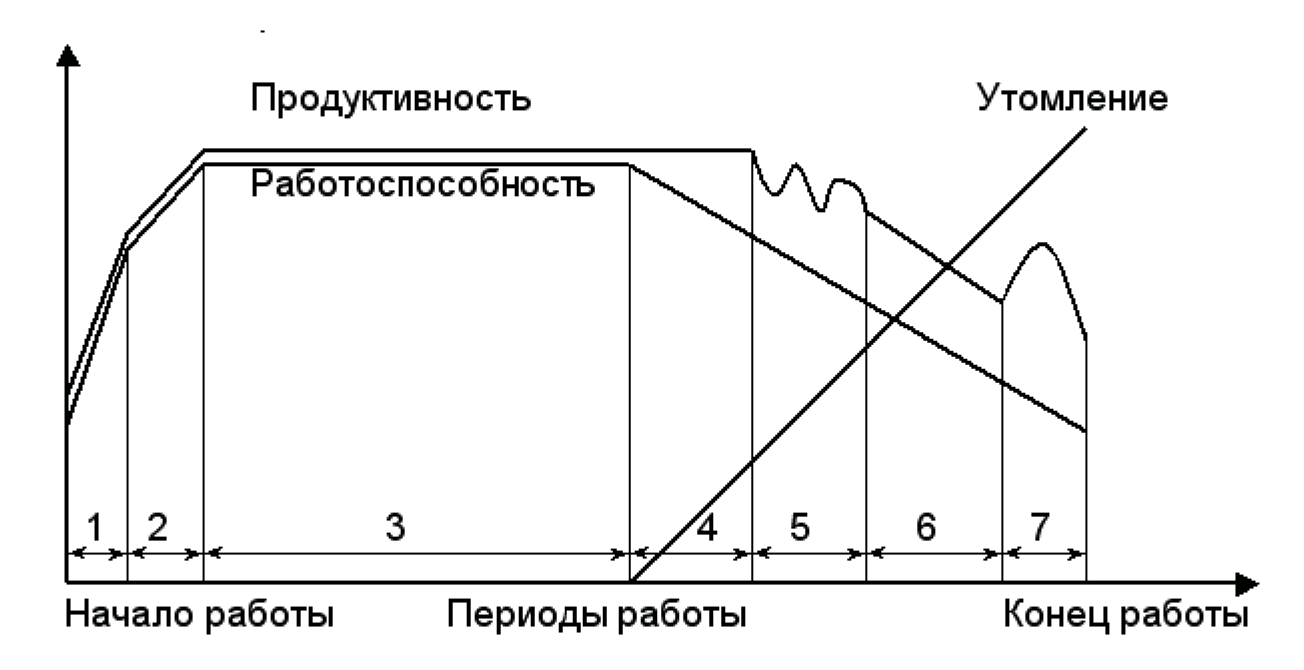



Рис. 8.2. График работоспособности человека: 1 – экстренное врабатывание; 2 – тонкое врабатывание; 3 – устойчивая работоспособность; 4 – полная компенсация утомления; 5 – неустойчивая компенсация утомления; 6 – падение продуктивности; 7 – “конечный порыв”.

Исходя из приведенных графиков, можно планировать типы задач, поставленных перед работниками в течение рабочего времени, с целью повышения эффективности работы коллектива.

### 8.2. Рекомендации по повышению работоспособности оператора

Многочисленные исследования в области научной организации труда позволили разработать следующие рекомендации по повышению эффективности работников:

1. Оператору необходимо знать динамику работоспособности для того, чтобы корректировать свою деятельность.
2. Колебания внимательности человека коррелируют с кривой изменения работоспособности.
3. Темп нагрузки оператора или рабочего на конвейере должен соответствовать периоду врабатываемости и периоду снижения работоспособности.

4. Длительные перерывы в работе сопровождаются спадом не только работоспособности, но и внимания.
5. Человек способен усилием воли повышать внимание и работоспособность на определенный период времени, но эта способность не абсолютна.
6. Снижение работоспособности в конце дня или недели требует снижения ритма и величины нагрузки в это время и особого внимания к профилактике травматизма.
7. Для поддержания работоспособности следует правильно чередовать периоды активного труда и кратковременного отдыха. Наиболее эффективны перерывы в период неустойчивой компенсации.
8. Восстановление работоспособности может достигаться сменой характера труда, активными действиями в процессе производственной гимнастики.
9. Режим труда и отдыха целесообразно индивидуализировать не только с учетом характера человека, его возможностей, но и с учетом физического и психического состояния в конкретный день.

Зная закономерности динамики работоспособности, можно подобрать периоды отдыха, а характер их будет зависеть от степени утомления. Так, например, при «мелких» работах, требующих большего непрерывного напряжения и внимания, ловких и мелких движений в высоком темпе целесообразно вводить частые, но короткие (2 – 5 мин) паузы. При «крупномасштабных» работах, связанных с большими усилиями и физическими напряжениями, выгодны более редкие, но продолжительные (до 10–15 мин) перерывы.

Отдых может быть пассивным и активным, причем пассивный отдых не всегда более эффективен.

Основоположником учения об активном отдыхе был И.М. Сеченов, который установил, что наиболее эффективным отдыхом является не полный покой утомленных мышц, а отдых, связанный с деятельностью других, неутомленных мышечных групп. На этом основано применение производственной физической гимнастики для обеспечения восстановления и повышения как общей, так и профессиональной работоспособности.

Однако следует иметь в виду, что при легких работах эффект активного отдыха не обнаруживается, он постепенно возрастает с увеличением интенсивности развивающегося утомления. Но при слишком сильном утомлении активный отдых по своей эффективности может уступать пассивному, т. е. при предельном утомлении уже не следует рекомендовать активный отдых.

## Литература


1. Бадалов В.В. Просто эргономика. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та. 2012, 109 с.
2. Вудсон К., Коновер Д. Справочник по инженерной психологии для инженеров и художников-конструкторов. - М. Мир. 1968, 518 с.
3. Дьяченко В.А., Никитина Т.А., Смирнов А.Б. и др. Промышленный дизайн: учебное пособие /под ред. В.А. Дьяченко.- СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012., 241 с. - Вакуумная техника. Серия Роснано.
4. Евдокимов В.Н. Методические указания для студентов, выполняющих самостоятельное задание по курсу «Основы художественного конструирования». – Л.: Изд-во ЛПИ им. М.И. Калинина. 1979, 28 с.
5. Зинченко В.П., Мунипов В.М. Основы эргономики. – М.: МГУ. 1979, 340 с.
6. Панеро Дж., Зелник М. Основы эргономики. Человек, пространство, интерьер: справочник по проектным нормам: пер. с англ. - М.: АСТ: Астрель. 2006, 319 с.
7. Ронжин О.В. Информационные методы исследования эргатических систем. - Москва: Энергия. - 1976, 208 с..
8. Рунге В.Ф., Манусевич Ю.П. Эргономика в дизайне среды: Учеб. пособие. – М.: Архитектура-С. 2009, 328 с.
9. Шмид М. Эргономические параметры: пер. с чеш. – М. : Мир, 1980, 237 с.


### Основные ГОСТы по эргономике


ГОСТ Р ИСО 15534-3-2007 Эргономическое проектирование машин для обеспечения безопасности. Часть 3. Антропометрические данные.

ГОСТ Р ИСО 7250-2007 Базовые измерения человеческого тела в технологическом проектировании.

ГОСТ Р ИСО 14738-2007 Безопасность машин. Антропометрические требования при проектировании рабочих мест машин.

ГОСТ Р ИСО 9241-7-2007 Эргономические требования при выполнении офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (ВДТ). Часть 7. Требования к дисплеям при наличии отражений.

ГОСТ Р ИСО 13406-1-2007 Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием плоскопанельных терминалов. Часть 1. Введение.

ГОСТ Р ИСО 9241-8-2007 Эргономические требования при выполнении офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (ВДТ). Часть 8. Требования к отображаемым цветам.

ГОСТ Р 52870-2007 Средства отображения информации коллективного пользования. Требования к визуальному отображению информации и способы измерения.

ГОСТ Р ИСО 6385-2007 Эргономика. Применение эргономических принципов при проектировании производственных систем.

ГОСТ Р ИСО 7731-2007 Эргономика. Сигналы опасности для административных и рабочих помещений. Звуковые сигналы опасности.

ГОСТ Р ИСО 10551-2007 Эргономика тепловой окружающей среды. Определение влияния тепловой окружающей среды с использованием шкал субъективной оценки.

ГОСТ Р ИСО/ТУ 13732-2-2008 Эргономика термальной среды. Методы оценки реакции человека при контакте с поверхностями. Часть 2. Контакт с поверхностью умеренной температуры.

ГОСТ Р ИСО 8996-2008 Эргономика термальной среды. Определение скорости обмена веществ.

ГОСТ Р ИСО 9886-2008 Эргономика термальной среды. Оценка температурной нагрузки на основе физиологических измерений.

ГОСТ ИСО 8995-2002 Принципы зрительной эргономики. Освещение рабочих систем внутри помещений.

ГОСТ Р ИСО 11226-2008 ССБТ. Эргономика. Ручная обработка грузов. Статические рабочие положения. Общие требования.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Задания к практическим занятиям

**Практическая работа №1**

### ЭРГОНОМИКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МЫШИ

Задачи

1. Сформулировать эргономические требования к компьютерной мышке.
2. Изготовить макет мышки из пластилина, твердеющего полимера, пенопласта, папье-маше или иного материала.

В отчете о практической работе отразить следующие пункты:

1. Назначение. Для каких целей и пользователей она предназначена.
2. Форма. Удобство для руки (правой, левой). Ответить на вопросы: сколько пальцев должны быть в контакте с мышкой, какова площадь контакта с рукой, положение пальцев в контакте с мышкой.
3. Материал (не макета, а разрабатываемой мыши). Параметры: твердость, теплопроводность, вентилируемость (способность «дышать»), шероховатость и др.
4. Размеры. На эскизе дать необходимые размеры. Показать связь габаритов с областью использования.
5. Вес. Оценить ограничения сверху, снизу.
6. Сила трения при движении. Оценить ограничения по силе сверху, снизу – дать пояснения.
7. Количество кнопок, количество устойчивых положений кнопок/колесика. Силы нажатия кнопок. Дать пояснения.
8. Основной упор руки: на мышку или на стол. Эскиз (фото) руки с мышью. Дать пояснения.
9. Обратная связь: информация по отработке действий с мышью. Звук, вибрация, световые сигналы и т.д.
10. Цветовая гамма. Дать пояснения с точки зрения эстетики и эргономики.

**Практическая работа №2**

## ОПИСАНИЕ И ЭРГОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РУЧНОГО ИНСТРУМЕНТА

Выбирается тип инструмента и рассматривается для сравнения два-три одинаковых по назначению и размерам инструмента, но с разными рукоятками или рабочей частью.

Задачи

Дать классификационный индекс инструмента с расшифровкой (классификация инструмента приведена ниже). Определить параметры ручек и рабочих органов ручного инструмента в зависимости от выполняемых операций и типоразмера (эскизы). Записать видео работы с инструментом (для инструмента, использующего кинетическую энергию). Сделать покадровый анализ работы с инструментом. Экспериментально определить площадь контакта руки с рукояткой (на руке и на рукоятке). Показать возможные положения инструмента в руке и траектории движения характерных точек инструмента, оценить максимальные силы и моменты, прикладываемые к инструменту, максимальную скорость, максимальные углы поворота и перемещения руки с инструментом во время работы, оценить эргономические параметры исходя из ГОСТ Р ЕН 1005-1-2008. Описать физико-химические и механические характеристики ручки: материал, твердость, модуль упругости, теплопроводность, шероховатость поверхности, коэффициент трения, коррозионную стойкость, плотность, цвет, а также массу всего инструмента и ручки, их геометрические параметры. Выявить недостатки при работе с инструментом. Дать субъективный эргономический показатель инструмента в пределах от 1 до 10. Предложить новые решения, свободные от указанных недостатков.

Составить отчет о проведенной работе.

Инструмент, предлагаемый для практической работы

1. Отвертки обычные.
2. Отвертки механизированные.
3. Гаечные ключи.
4. Напильники.
5. Молотки, кувалды.
6. Топоры, колуны.
7. Ножовки по металлу.
8. Ножовки по дереву, лобзики.
9. Рубанки.
10. Пробойники, зубила.
11. Стамески, долота.

12. Пинцеты.
13. Разводные ключи.
14. Ножи технические.
15. Кусачки, бокорезы.
16. Плоскогубцы, длинногубцы.
17. Резьбонарезной инструмент – плашки, воротки.
18. Электродрели.
19. Коловороты.
20. Мастерки и шпатели.
21. Ножницы хозяйственные.
22. Ножницы по металлу.
23. Электролобзики.
24. Корчетки.
25. Паяльники.

Примечание. Студент может самостоятельно предложить другой тип инструмента, предварительно согласовав с преподавателем. Например, фены (технические или косметические), кухонные машины (мясорубки, кофемолки, комбайны).

КЛАССИФИКАЦИЯ РУЧНОГО ИНСТРУМЕНТА

<table>
<tr><td rowspan="2">1. По типу операций:<br>1.1. Режущий.<br>1.2. Хватающий.<br>1.3. Щипковый.<br>1.4. Закручивающий.<br>1.5. Ударный.<br>1.6. Долбящий.<br>1.7. Строгающий.<br>1.8. Колющий.<br>1.9. Пилящий.<br>1.10. Рубящий.<br>1.11. Скребущий.<br>1.12. Сверлящий.<br>1.13. Нагревающий.<br>1.14. Распыляющий.<br>1.15. Мажущий.<br>1.16. Спринцующий.</td><td>2. По характеру движений:<br>2.1. Силовые.<br>2.2. Точные.<br>2.3. Скоростные.<br>2.4. Комбинированные.</td></tr>
<tr><td>11. По степени механизации<br>11.1. Без механических передач<br>11.2. С механическими передачами<br>11.3. Механизизированные<br>11.4. С электро/ пневмо приводом</td></tr>
<tr><td>3. По количеству рук, держащих инструмент:<br>3.1. Для одной руки.<br>3.2. Для двух рук.</td><td>4. По рабочей позе:<br>4.1. Стоя.<br>4.2. Сидя.<br>4.3. Лежа.<br>4.4. Любая поза.</td></tr>
<tr><td>5. В движении участвуют:<br>5.1. Пальцы.</td><td>6. По траектории рукоятки.<br>6.1. Прямолинейное движение</td></tr>
</table>

| | |
|---|---|
| 5.2. Кисть, предплечье.<br>5.3.Рука в целом.<br>5.4. Рука с корпусом тела | 6.2. Вращательное вокруг своей оси.<br>6.3. По дуге.<br>6.4. Пространственное комбинированное. |
| **7. По типу захвата рукоятки.**<br>7.1. Цилиндрический (всей кистью).<br>7.2. Щипковый (большим и указательным пальцами).<br>7.3. Зацепляющий (четырьмя пальцами).<br>7.4. Щепотью (тремя пальцами).<br>7.5. Сферический (всей кистью).<br>7.6. Боковой (большим и указательным пальцами). | **8. По зрительному контролю.**<br>8.1. Не нужен.<br>8.2. Постоянный.<br>8.3. Только в конечных точках. |
| **9. По степени универсальности**<br>9.1 Узко специализированный<br>9.2. Специализированный<br>9.3. Универсальный | **10. По упору в рабочем положении**<br>10.1. Только на ноги<br>10.2. На ноги и локти<br>10. 3. На предплечье<br>10.4. На ноги и инструмент<br>10.5. На ноги, плечи и инструмент<br>10.6. На запястье.<br>10.7. На локоть. |

**Практическая работа №3**

## ЭРГОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Соматография - это технико-антропометрический анализ рабочих поз человека, заключающийся в совместном изображении человеческого тела и элементов оборудования в ортогональных плоскостях. Под рабочей позой понимается расположение кинематических звеньев тела в пространстве рабочего места в ходе выполнения операций контроля и управления. Рабочая поза зависит от размещения относительно оператора средств контроля и органов управления.

Задачи

Построить соматограмму станка в двух проекциях: - главный вид и вид сбоку для рабочих-операторов, имеющих размеры, соответствующие 5-процентилю и 95-процентилю с учетом обуви. Указать зоны досягаемости обеих рук и поля зрения оператора. Оценить эргономические параметры технологического оборудования.

Рабочий-оператор должен стоять на деревянном реечном настиле высотой не менее 50 мм (для оператора с размерами 5-процентиля

возможен вариант с настраиваемым по высоте настилом). На главном виде показать расположение кнопок «аварийный стоп».

В отчете для 5- и 95-процентиля оценить степень досягаемости органов управления технологического оборудования с учетом ГОСТ Р ИСО 14738-2007, ГОСТ Р ИСО 7250-2007, ГОСТ Р 51341-99, ГОСТ 12.2.033-78 (см. рис.5.13): ответить на вопросы соответствуют ли они зонам для размещения очень часто используемых органов управления и наиболее важных органов управления (оптимальная зона моторного поля); зонам для размещения часто используемых органов управления (зона легкой досягаемости моторного поля) и зонам для размещения редко используемых органов управления (зона досягаемости моторного поля). Определить в какой степени рабочая зона станка соответствует полю зрения оператора (по рис. 4.11). Примеры выполнения соматограммы показаны на рис. П 1 а, б.

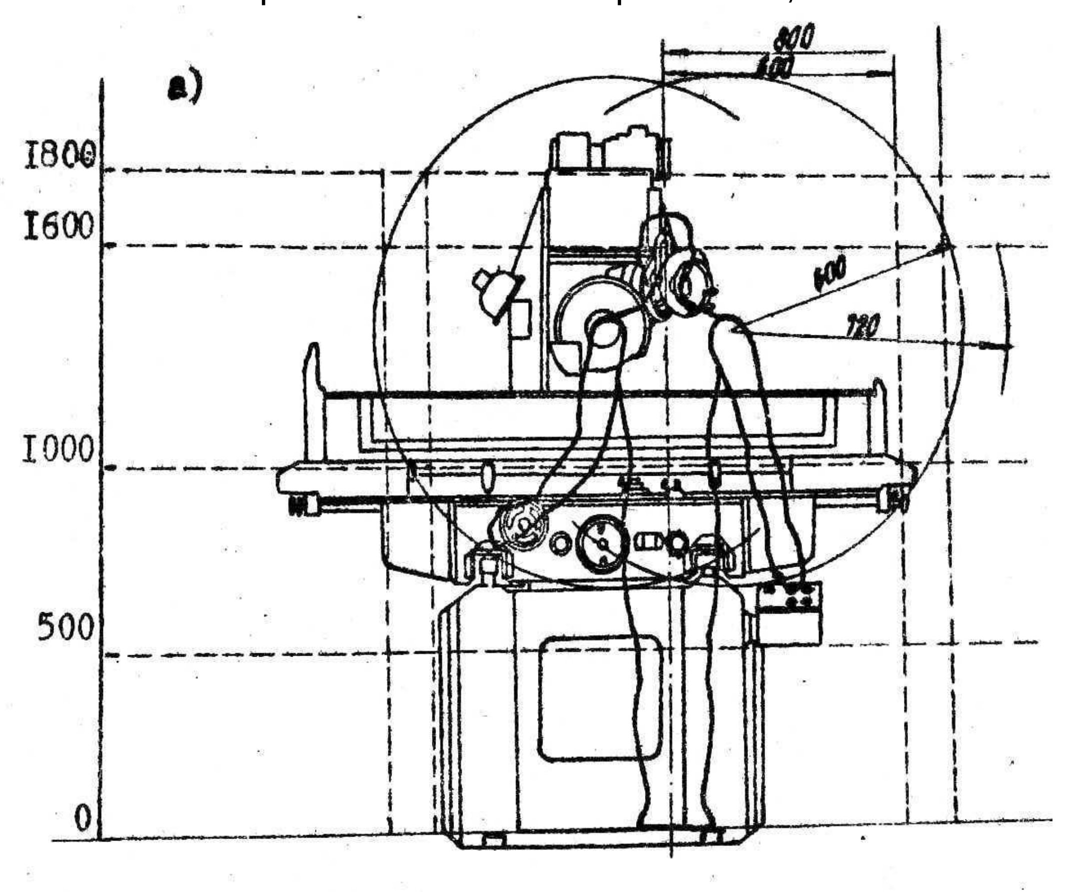



Рис. П 1. Главный вид

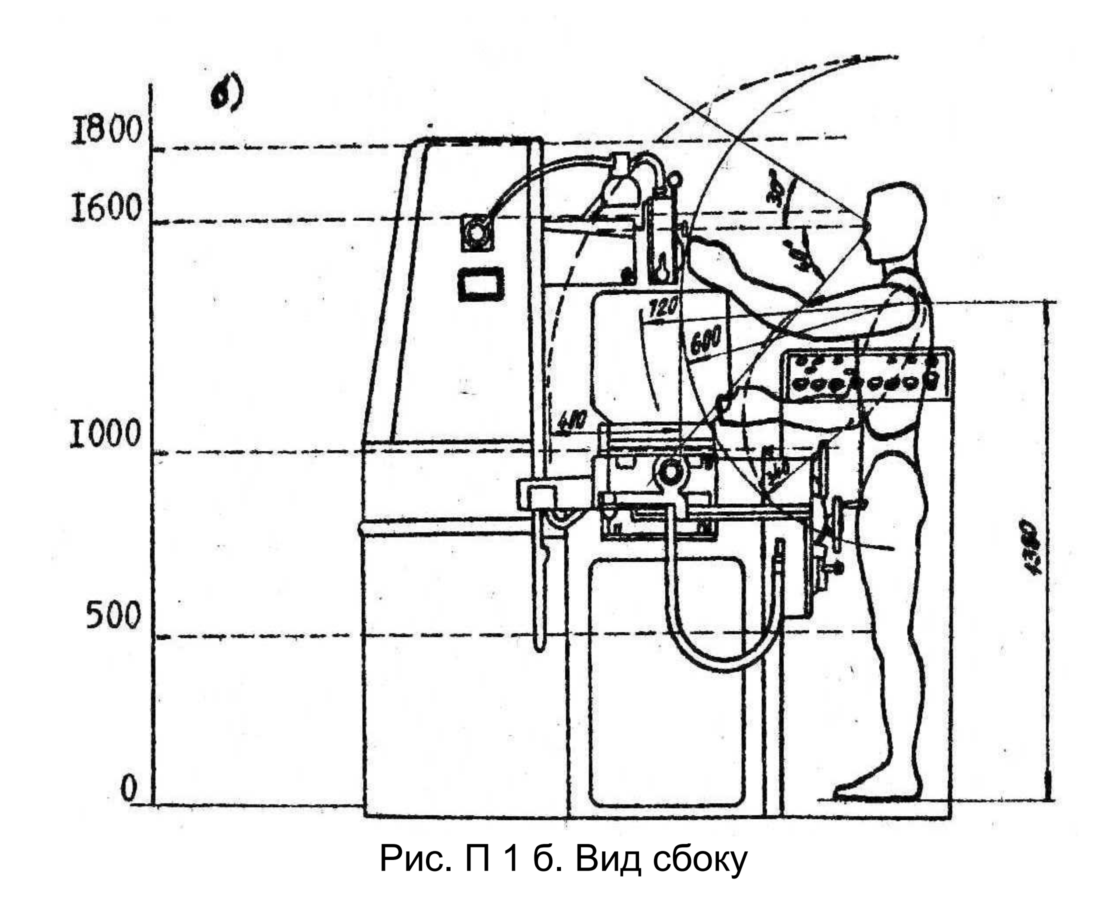



Рис. П 1 б. Вид сбоку

Смирнов Аркадий Борисович

# ЭРГОНОМИКА

Учебное пособие